

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky**

**EMC zkušební laboratoř v OEZ Letohrad**

**Projecting of EMC laboratory for OEZ Letohrad**

## Zadání diplomové práce

Student:

**Bc. Pavel Karafiát**

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

EMC Zkušební laboratoř v OEZ Letohrad  
Projecting of EMC laboratory for OEZ Letohrad

Zásady pro vypracování:

1. Požadavky EMC na spínací techniku nn
2. Výběr vhodných zkušebních zařízení pro zkoušky EMC na jističích nn a jejich příslušenství.
3. Návrh laboratoře EMC v nové zkušebně OEZ Letohrad.
4. Vzorový protokol z testu EMC na vybraném typu jističe s vyhodnocením závěrů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Havelka, O.: Elektrické přístroje, Praha, SNTL 1985

Cigánek, L.: Elektrické přístroje spínací, ochranné a řídicí, Praha, SNTL 1956

Hytka, Z., Kačor, P., Helštýn, D.: Elektrické přístroje spínací, ochranné a jistící, Ostrava, VŠB 2003  
Příslušné ČSN, EN a IEC

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Hytka, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2015

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
*vedoucí katedry*



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem veškeré literární zdroje a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: *4. května 2015*

.....

*Pavel Karafiát*

## **Poděkování**

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu své diplomové práce Ing. Zdeňku Hytkovi, CSc. za odborné rady a připomínky při zpracování práce. Dále bych rád poděkoval společnosti OEZ za příležitost podílet se na vzniku zkušební laboratoře a za poskytnuté materiály nezbytné pro vypracování této práce. V neposlední řadě také mým blízkým a mé rodinně za to, že mě provázeli a podporovali po celou dobu mého studia.

## **Abstrakt**

Podle zákona o technických požadavcích na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility musí každé zařízení uváděné na trh být elektromagneticky kompatibilní s ostatními elektrickými zařízeními, nesmí tedy docházet k nežádoucímu vzájemnému rušení. Diplomová práce se zaměřuje na zkoušky elektromagnetické odolnosti jističů a motorových pohonů pro vzdálené ovládání jističů a sumarizuje požadavky příslušných technických norem na tyto zkoušky, tak aby tato zařízení mohla být uváděna na trh v souladu s platnou legislativou. Pro každou zkoušku jsou uvedeny v práci zkušební sestavy, zkušební úrovně a postup zkoušky. Na základě těchto požadavků byl sestaven seznam zkušebních přístrojů a zařízení, kterými je možné provádět výrobní a předcertifikační zkoušky.

## **Klíčová slova**

EMC; elektromagnetická kompatibilita; elektromagnetická odolnost; jistič; motorový pohon; zkoušky elektromagnetické odolnosti; laboratoř; zkušební úrovně; zkušební vybavení; požadavky na zkoušky

## **Abstract**

According to the Law about technical requirements for products relating to their electromagnetic compatibility, each device introduced to the market must be electromagnetically compatible with other electrical devices and shall not generate unwanted interference. The thesis focuses on electromagnetic immunity tests for circuit breakers and motor operators for remote circuit breaker control and summarizes the requirements of the relevant technical standards for these tests so that these devices may be introduced to the market under current legislation. For each test in the thesis test setups, test levels and test procedures are shown. Based on these requirements, a list of testing instruments and equipment was compiled. With these instruments all required production and precertification tests can be performed.

## **Key words**

EMC; electromagnetic compatibility; electromagnetic susceptibility; circuit breaker; motor operator; electromagnetic susceptibility tests; laboratory; test levels; test instrumentation; tests requirements

## Seznam použitých symbolů

Značka	Veličina	Jednotka
$f$	frekvence	[Hz]
$I_{30}$	hodnota proudu v čase 30 ns od okamžiku dosažení $I_{max}$	[A]
$I_{60}$	hodnota proudu v čase 60 ns od okamžiku dosažení $I_{max}$	[A]
$I_D$	Pokles zkušebního proudu	[A]
$I_{max}$	špičková hodnota proudu	[A]
$I_R$	Proudové nastavení nastavitelných spouští na přetížení	[A]
$I_{r.m.s.}$	efektivní hodnota proudu	[A]
$P_c$	maximální propustný výkon	[W]
$T$	Perioda sinusového proudu	[s]
$t$	teplota	[°C]
$t_r$	dobu náběhu	[s]
$U_e$	jmenovité pracovní napětí jističe	[V]
$U_{max}$	špičková hodnota napětí	[V]
$U_p$	napětí na prázdko	[V]
$Z_{ce}$	celková impedance vazebního/oddělovacího obvodu	[Ω]

## Seznam použitých zkratk

<b>zkratka</b>	<b>význam</b>
AE	pomocné zařízení
AM	amplitudová modulace
CDN	vazební / oddělovací síť
CEE	Mezinárodní komise pro předpisy ke schvalování elektrotechnických výrobků
CR	kontrolní místnost
ČSN EN	česká technická norma, verze evropské normy
EFT/B	rychlé přechodové jevy/skupiny impuzů
EMC	elektromagnetická kompatibilita
EMI	elektromagnetické rušení
EMS	elektromagnetická odolnost
ESD	Elektrostatický výboj
EUT	testované zařízení
GRP	referenční zemní rovina
IEC	Mezinárodní organizace pro normalizaci v elektrotechnice
MO	motorový pohon
nn	nízké napětí
RF	rádiová frekvence
SAC	polo-bezodrazová komora
UFA	plocha homogenního pole
vf	vysokofrekvenční

## Obsah

Úvod .....	1
1 Elektromagnetická kompatibilita .....	2
1.1 Základní pojmy a definice .....	2
1.2 Struktura EMC.....	3
1.3 Druhy rušení .....	4
1.4 Druhy šíření rušení .....	5
2 Požadavky EMC na spínací techniku nn.....	6
2.1 Uvádění výrobku na trh .....	6
2.2 Zkoušení zařízení.....	7
2.2.1 Zkoušení jističů .....	8
2.2.2 Zkoušení motorových pohonů.....	8
2.2.3 Test plán .....	8
2.2.4 Protokol o zkoušce .....	9
2.3 Zařízení zkoušená v navrhované laboratoři.....	9
2.3.1 Podmínky v laboratoři.....	11
3 Elektromagnetická Odolnost .....	12
3.1 Rozhodnutí o úspěšnosti zkoušky.....	12
3.1.1 Kritérium činnosti pro motorový pohon.....	12
3.1.2 Kritérium činnosti pro jistič .....	13
3.2 Elektrostatické výboje .....	14
3.2.1 Zkušební úrovně.....	14
3.2.2 Zkušební vybavení .....	14
3.2.3 Zkušební sestava .....	15
3.2.4 Podmínky v laboratoři.....	17
3.2.5 Provedení zkoušky .....	18

---



3.2.6	Vyhodnocení zkoušky .....	19
3.3	Vysokofrekvenční elektromagnetická pole šířená vyzařováním .....	20
3.3.1	Zkušební úrovně .....	20
3.3.2	Zkušební vybavení .....	20
3.3.3	Požadavky na zkoušku .....	22
3.3.4	Provedení zkoušky .....	24
3.3.5	Vyhodnocení zkoušky .....	26
3.4	Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů .....	27
3.4.1	Zkušební úrovně .....	28
3.4.2	Zkušební vybavení .....	29
3.4.3	Zkušební sestava .....	31
3.4.4	Provedení zkoušky .....	32
3.4.5	Vyhodnocení zkoušky .....	33
3.5	Rázový impulz .....	34
3.5.1	Zkušební úrovně .....	34
3.5.2	Zkušební vybavení .....	34
3.5.3	Provedení zkoušky .....	38
3.5.4	Vyhodnocení zkoušky .....	40
3.6	Rušení šířené vedením indukované vysokofrekvenčními poli .....	41
3.6.1	Zkušební úrovně .....	41
3.6.2	Zkušební vybavení .....	41
3.6.3	Provedení zkoušky .....	43
3.6.4	Vyhodnocení zkoušky .....	45
3.7	Krátkodobé poklesy a přerušení napětí .....	46
3.7.1	Zkušební úrovně .....	46
3.7.2	Zkušební vybavení .....	47
3.7.3	Provedení zkoušky .....	48

---

3.7.4	Vyhodnocení výsledku zkoušky.....	48
3.8	Harmonické proudy .....	49
3.8.1	Zkušební úrovně.....	49
3.8.2	Zkušební vybavení .....	50
3.8.3	Provedení zkoušky .....	50
3.8.4	Vyhodnocení zkoušky .....	50
3.9	Poklesy proudu .....	51
3.9.1	Zkušební úrovně.....	51
3.9.2	Provedení zkoušky .....	51
3.9.3	Vyhodnocení zkoušky .....	52
4	Návrh zkušební laboratoře.....	53
4.1	Zkušební přístroje .....	53
4.2	Popis pracoviště.....	57
5	Závěr.....	59

Seznam Literatury

Seznam příloh

---

## Úvod

Elektrická a elektronická zařízení provázejí člověka, žijícího v moderní společnosti, prakticky na každém kroku. Každé z těchto zařízení produkuje ve větší nebo menší míře elektromagnetické rušení, které může ovlivnit správnou funkci jiného zařízení, proto je nutné, aby obě zařízení byla vzájemně elektromagneticky kompatibilní. To znamená, že zařízení nesmí do svého okolí generovat nežádoucí rušivý signál a zároveň musí být dostatečně odolné proti případnému rušení nacházejícímu se v jeho okolí. Elektromagnetická odolnost je zvláště důležitá v průmyslu, neustálý tlak na snižování výrobních nákladů, zvyšování efektivity výroby a kvality výrobků vede k automatizaci výrobních linek a procesů. Polovodičové součástky, z nichž jsou tyto linky sestaveny, jsou zvláště citlivé na elektromagnetické rušení, jejich porucha nebo nesprávná funkce může vést v krajních případech až k ohrožení zdraví osob nebo k přerušení výrobních procesů.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem laboratoře pro zkoušky elektromagnetické odolnosti pro jističe a motorové pohony vyvíjené společností OEZ. Podle zákona musí každý výrobek uvedený na trh být vyrobený tak, aby elektromagnetické rušení způsobené zařízením nepřesáhlo úroveň, za níž jiná zařízení nejsou schopna správně fungovat, a zároveň bylo dostatečně odolné proti vnějšímu rušení. Tento fakt je nutno zkontrolovat podle příslušných technických norem definujících úroveň odolnosti a odpovídající zkušební vybavení. Před vznikem laboratoře elektromagnetické kompatibility v areálu společnosti OEZ, byly zkoušky prováděny v externích laboratořích. Vznikem nové laboratoře si společnost slibuje ušetření nákladů za pronájem a tím snížení nákladů na výrobu.

Diplomová práce slouží jako sumarizace požadavků zkoušek elektromagnetické odolnosti na jističe Siemens řady 3VA a jejich motorových pohonných. Podle těchto požadavků je sestaven seznam zkušebního vybavení pro kompletní zkoušky elektromagnetické odolnosti na jističích a motorových pohonech.

# 1 Elektromagnetická kompatibilita

Elektromagnetická kompatibilita někdy též zvaná slučitelnost je obor, který se zabývá zabezpečením spolehlivosti a funkčnosti jednotlivých elektrických a elektronických prvků a systémů. EMC řeší vztahy mezi jednotlivými prvky a systémy, které musí být navrženy tak, aby se vzájemně negativně neovlivňovali. Obor se dělí na dvě hlavní větve. Ta první se zabývá rušením, které zařízení produkuje, zatímco druhá větev se zabývá odolností zařízení proti cizímu rušení. [1]

Pojem elektromagnetická kompatibilita vznikl v šedesátých letech v USA jako nová vědecká disciplína z důvodu nutnosti zabezpečení bezchybné a spolehlivé funkce elektrotechnických zařízení a to zejména v oblastech vojenské a vesmírné techniky. Dnes se problematika elektromagnetické kompatibility dotýká nás všech a to hlavně díky rozvoji elektroniky a mikroprocesorové techniky. S tímto stoupá úroveň rušení v kmotočtovém pásmu v řádech hertzů až giga hertzů. Rušivé a negativní vlivy v takovémto množství by mohly způsobit rozsáhlé technické a ekonomické škody v důsledku neustále stoupajícího množství spotřebičů s nelineární charakteristikou připojovaných k napájecí síti. Slovy Allana Bradleyho: „Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý – bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a EMC jsou neoddělitelné požadavky systému, který má správně fungovat v každém okamžiku a za všech okolností.“

## 1.1 Základní pojmy a definice

### **Elektromagnetická kompatibilita - EMC**

Je schopnost zařízení uspokojivě fungovat v elektromagnetickém prostředí, aniž by samo způsobovalo nepřijatelné elektromagnetické rušení jiného zařízení v tomto prostředí.

### **Elektromagnetické prostředí**

Souhrn elektromagnetických jevů vyskytujících se v daném prostoru.

### **Elektromagnetické rušení**

Elektromagnetický jev, který může zhoršit funkci zařízení, anebo nepříznivě ovlivnit živou nebo neživou hmotu.

### **Elektromagnetická interference - EMI**

Elektromagnetické rušení, které zhoršuje provoz zařízení nebo systému. [2]

Elektromagnetické rušení a EMI jsou obsahově dva různé pojmy, které je nutno rozlišovat. EMI je stav nechtěného zhoršení provozu nebo nežádoucího ovlivnění, chápáno jako konkrétní situace. Elektromagnetické rušení je chápáno jako jev, který toto zhoršení může vyvolat. [2]

### **Elektromagnetická citlivost na rušení**

Neschopnost prvku nebo systému fungovat za přítomnosti elektromagnetického rušení bez zhoršení charakteristik.

### **Elektromagnetická odolnost proti rušení - EMS**

Schopnost prvku nebo systému fungovat za přítomnosti elektromagnetického rušení bez zhoršení charakteristik.

### **Elektromagnetická emise**

Jev, při kterém vychází elektromagnetická energie ze zdroje. Termín emise v tomto případě v sobě zahrnuje všechny způsoby šíření a to ve formě: vyzařovaného rušivého pole, rušivého proudu a rušivého napětí.

### **Elektromagnetické vyzařování**

Jev, při němž energie vychází ze zdroje do prostoru v podobě elektromagnetických vln, nebo energie přenášená prostředím v podobě elektromagnetických vln.

## **1.2 Struktura EMC**

### **Elektromagnetická interference (EMI)**

EMI zkoumá příčiny vzniku rušení, jeho působení, klasifikací zdrojů a přijímačů. Zpracovává metodiku k omezení rušení a ochrany před ním. Součástí EMI je také zkoumání vlivu působení elektromagnetické energie na životní prostředí a na živé organismy.

### **Elektromagnetická odolnost (EMS)**

EMS se zkouší podle tzv. funkčních kritérií. Zkoušené zařízení je vystaveno podrobnému působení rušivých emisí. Úroveň těchto emisí se měří a sleduje se, kdy nastane poruchový stav. Porucha je dále vyhodnocována na základě konstrukce, funkce a vnitřních stavů daného zařízení.

### **Analýza elektromagnetické kompatibility**

Na základě analýzy se určí specifické systémové požadavky na tzv. elektromagnetické klima, tj. přípustné meze rušení pro určité kmitočtové spektrum a průběhy rušivých signálů. Po

takovémto teoretickém rozboru, který je založený na matematických metodách se provedou zkoušky pro získání fyzikálních údajů. Měřicí senzory jsou umístěny u zdrojů rušení, na přenosových cestách a u přijímačů rušení. Pokud není možné z jakéhokoli důvodu provést tyto zkoušky na začátku projektu, provedou se dodatečně. Cílem této analýzy je tedy prognóza vzniku elektromagnetického rušení. Na základě statistických údajů se stanoví možnosti vzniku elektromagnetického rušení mezi jednotlivými částmi systému a definují se požadavky na jejich odolnost proti rušení. [2]

### 1.3 Druhy rušení

Rušivé signály ovlivňující elektrická zařízení lze rozdělit na umělé (způsobené působením lidské činnosti - relé, stykače, výkonové polovodičové měniče, oscilátory, atd.) a přírodní (atmosférické poruchy, blesky). Přírodním rušivým signálům nelze zabránit, je tedy potřeba minimalizovat následky jejich působení.

Podle časového průběhu lze rušení dělit takto:

#### **Impuls**

Prudká krátkodobá změna veličiny s následným návratem k původní hodnotě.

#### **Skupina impulsů – burst**

Posloupnost omezeného počtu jednotlivých impulsů s omezeným trváním.

#### **Impulsní rušení**

Elektromagnetické rušení v podobě posloupnosti jednotlivých pulsů nebo přechodových jevů.

#### **Spojité rušení**

Elektromagnetické rušení v podobě posloupnosti oddělených jevů.

#### **Kvaziimpuslní rušení**

Elektromagnetické rušení, které je kombinací spojitého a impulsního rušení.

Podle frekvence rušivého signálu lze rušení rozdělit na nízkofrekvenční, působící na energetickou soustavu přibližně do velikosti 2 kHz a způsobující zkreslení napájecího napětí a proudu, a na vysokofrekvenční.

Akustické nízkofrekvenční rušení do 10 kHz je generováno všemi energetickými zdroji a systémy číslicového přenosu. Za vysokofrekvenční neboli rádiové rušení se považuje signál ve frekvenčním rozsahu od 10 kHz do 400 GHz. [8]

## 1.4 Druhy šíření rušení

Rušivé signály se mohou šířit po vedení nebo volným prostorem. Šíření rušení po vedení lze popsat galvanickou, kapacitní a induktivní vazbou. Šíření volným prostorem lze popsat vazbou vyzařováním.

### **Galvanická vazba**

Tato vazba vznikne mezi zdrojem rušení a přijímačem, mají-li společnou impedanci tvořící vazební člen RL charakteru. Mezi tyto vazby patří například společné napájecí vedení nebo vazba skrze impedanci zemniče.

### **Indukční vazba**

Indukční vazba vznikne mezi dvěma elektrickými obvody, pokud alespoň jedním z nich protéká elektrický proud. Vazba vzniká na principu elektromagnetické indukce a je závislá zejména na vzájemné indukčnosti, vzdálenosti mezi obvody, délce souběžně probíhajících vodičů a frekvenci rušivého proudu. Tato vazba vzniká nejen mezi sousedními obvody, ale i mezi pasivními částmi zařízení např. mezi uzemňovacími vodiči a konstrukčními částmi přístroje.

### **Kapacitní vazba**

Při zvyšujících se frekvencích a díky parazitním kapacitám vzniká kapacitní vazba zejména mezi silovými vodiči, datovými kabely a mezi vodiči a zemní soustavou. Tato vazba převládá zejména u vysokoimpedančních obvodů. Pro minimalizaci vlivu kapacitní vazby je nutné citlivý obvod oddálit od ostatních obvodů, jenž by mohly způsobit rušení.

### **Vazba vyzařováním**

Vazba vyzařováním se uplatňuje i při větších vzdálenostech mezi zdrojem a přijímačem rušení, kdy na přijímač rušení kapacitní ani induktivní vazba nepůsobí. Touto vazbou se šíří rušení zejména od vysílačů a atmosférická rušení. Elektromagnetické rušení vlivem časové změny ve vodičích indukuje rušivé napětí, které se sečítá se signálovým napětím. Rušení se do přístroje dostává přes anténu a následně se na vodičích indukuje napětí. Anténou může být i část obvodu přijímače např. volný neuzemněný konektor. Velikost indukovaného napětí je závislá vlnové délce rušivého signálu. [8]

## 2 Požadavky EMC na spínací techniku nn

Každý přístroj, pevná instalace nebo sestava přístrojů uváděná na trh určená pro koncového uživatele, která může způsobit elektromagnetické rušení nebo na kterou může mít elektromagnetické rušení vliv, musí splnit požadavky vyplývající z nařízení vlády č.616/2006 *o technických požadavcích na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility*. Základním požadavkem toho nařízení vlády je, že zařízení musí být navrženo a vyrobeno tak, aby bylo zajištěno, že elektromagnetické rušení způsobené zařízením nepřesáhne úroveň za níž jiná zařízení, zejména rádiové a telekomunikační zařízení, není schopné fungovat jak má, a že úroveň jeho odolnosti vůči elektromagnetickému rušení mu dovoluje fungovat bez nepříjemného zhoršení určených funkcí. [23]

### 2.1 Uvádění výrobku na trh

Jestliže výrobce nebo dovozce vydá katalog, v němž nabízí existující výrobky a uvádí potřebné nákupní podmínky, lze toto konání označit jako uvedení výrobku na trh. Výrobky musí být při uvedení na trh v souladu se všemi nařízeními vlády a ostatními technickými předpisy, které se na ně vztahují. Výrobky nově vyrobené nebo výrobky dovezené, ať nové nebo použité, musí při každém uvedení na trh splňovat ustanovení příslušných nařízení vlády. [15]

V ustanovení § 2 odst. B zák. č. 22/1997 Sb., je uvedení výrobku na trh chápáno takto:

*„uvedením výrobku na trh se rozumí první dodání výrobku na trh v rámci obchodní činnosti, kterým se rozumí předání nebo nabídnutí k předání výrobku nebo převod vlastnického práva k výrobku za účelem distribuce, používání nebo spotřeby na trhu Evropské unie, nestanoví-li zvláštní zákon jinak. Za uvedené na trh se považují i výrobky vyrobené nebo dovezené pro provozní potřeby při vlastním podnikání výrobců nebo dovozců a výrobky poskytnuté k opakovanému použití, je-li u nich před opakovaným použitím posuzována shoda s právními předpisy, pokud to stanoví nařízení vlády. Je-li to nezbytné, vláda nařízením blíže vymezí pojem uvedení na trh pro výrobky, na které se tento technický předpis vztahuje.“*

Podle platné české legislativy musí jističe a motorové pohony (dále jen elektrická zařízení) určené pro uvedení na český nebo evropský trh splňovat požadavky uvedené v zákoně č. 22/1997 Sb. *o technických požadavcích na výrobky* a v nařízení vlády č. 616/2006 Sb., *o technických požadavcích na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility* a č. 17/2003 Sb., *kterým se stanoví technické požadavky na elektrická zařízení nízkého napětí*. [24, 25]



Ze zákona tedy plyne, že elektrické zařízení může být uvedeno na trh pouze tehdy, splňuje-li technické požadavky harmonizovaných českých technických norem, nebo zahraničních technických norem přejímaných v členských státech Evropské unie harmonizované evropské normy nebo určených norem zahrnujících bezpečnostní ustanovení Mezinárodní organizace pro normalizaci v elektrotechnice IEC nebo Mezinárodní komise pro předpisy ke schvalování elektrotechnických výrobků CEE.

U elektrického zařízení musí být prokázána shoda s výše uvedenými předpisy. Shoda vzorku výrobku se základními požadavky na výrobky je posuzována autorizovanou osobou, která vydá výrobcí doklad o posouzení shody. Výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce zajišťuje a prohlašuje, že elektrické zařízení splňuje požadavky těchto předpisů. Výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce musí opatřit každý výrobek označením CE a vypracovat písemné prohlášení o shodě, jehož kopii je povinen uchovávat spolu s technickou dokumentací. [21, 22]

Při prokazování shody platí pro jističe a motorové pohony, které jsou chápány jako příslušenství k jističi, harmonizované normy *ČSN EN 60947-1 ed. 4 Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení* a *ČSN EN 60947-2 ed. 3 Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 2: Jističe*. Součástí těchto norem je část zabývající elektromagnetickou odolností jističů a jejich příslušenství. ČSN EN 60947-2 ed. 3 definuje zkoušky odolnosti, jaké musejí být na zařízeních provedeny, a určuje požadavky na zařízení kladené, jako například zkušební úrovně a zkušební sestavy. Tuto normu doplňují normy ze skupiny ČSN EN 61 000-4-x. Každá z těchto norem odpovídá jedné zkoušce, jaká má být na zařízení vykonána, definuje zkušební zařízení, podmínky, v nichž má být zařízení zkoušeno a požadavky na správné vypracování testu a protokolu o zkoušce.

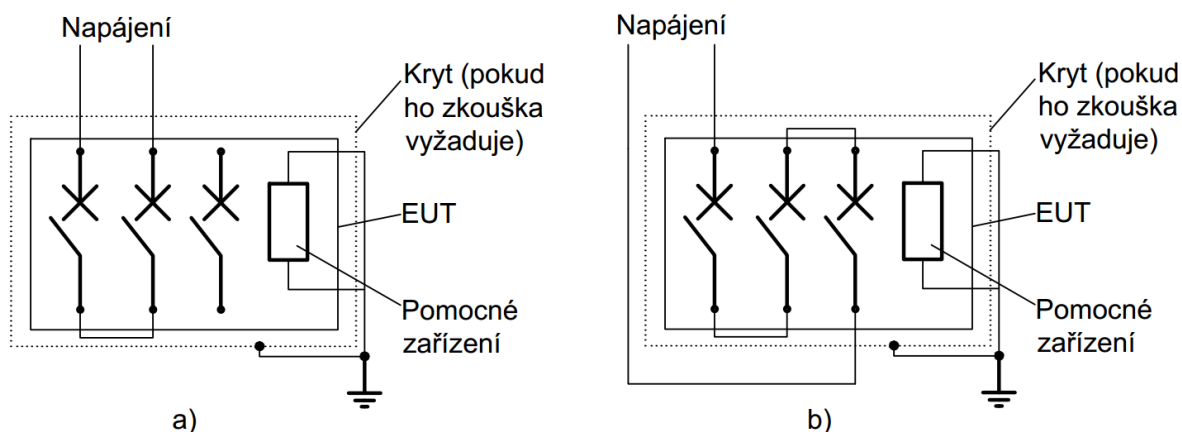
## **2.2 Zkoušení zařízení**

Výrobce rozhodne, zda, bude jedno zařízení použito pouze pro jednu zkoušku, nebo pro několik zkoušek v řadě. Pokud je dané zařízení dimenzováno na 50 Hz/60 Hz, pak musí být zkouška provedena při kterémkoli ze jmenovitých kmitočtů.

V případě zařízení se stejnými elektronickými řídicími zařízeními (včetně rozměrů, součástek, sestavených desek a krytů, pokud jsou použity) a se stejným provedením proudových snímačů stačí zkoušet pouze jedno zařízení z řady. [5]

### 2.2.1 Zkoušení jističů

Při zkoušení elektromagnetické odolnosti jističe pro zkoušky elektrostatických výbojů, vysokofrekvenčního elektromagnetického pole šířeného vyzařováním, rušení šířeného vedením indukované vysokofrekvenčními poli, harmonických a zkouškách poklesů proudu musí zkušební obvod odpovídat variantě a) v obrázku 2.2.1. a v případě spouští citlivých na ztrátu fáze musí zkušební obvod odpovídat variantě b) v obrázku 2.2.1. [5]



Obr. 2.2.1. Zkušební obvod pro zkoušky odolnosti jističů

### 2.2.2 Zkoušení motorových pohonů

Při zkoušení elektromagnetické odolnosti motorového pohonu pro všechny zkoušky uvedené v kapitole 3 musí být zkoušený motorový pohon nainstalován na jistič podle pokynů výrobce. U každé zkoušky v kapitole 3 je uvedeno, zda se MO zkouší v krytu nebo ve vzduchu.

### 2.2.3 Test plán

Každá zkouška musí být provedena na základě předem připraveného test plánu. Tento dokument obsahuje zejména popis zkoušeného zařízení a informace o zkoušce. Pro jednotlivé zkoušky se mohou informace obsažené v test plánu lišit, základní informace obsažené v test plánu by měly být:

- Popis činnosti a provozních vlastností EUT
- Parametry EUT
- Způsob umístění EUT ve zkušební sestavě

- Funkční kritérium činnosti EUT
- Popis zkušební sestavy
- Popis provedení zkoušky
- Zkušební úroveň
- Rozsah zkušebních veličin (např. krok, klidová doba)
- Místa aplikace rušivého signálu

#### **2.2.4 Protokol o zkoušce**

Po provedení zkoušky je sestaven protokol o zkoušce, který obsahuje veškeré informace potřebné k opakování zkoušky ve stejných podmínkách, tak aby bylo dosaženo stejného výsledku. V závislosti na provedené zkoušce by měl protokol o zkoušce obsahovat tyto údaje:

- Parametry a popis činnosti EUT
- Identifikační údaje EUT a pomocného zařízení (výrobce, typ, sériové číslo)
- Identifikační údaje měřicích přístrojů (výrobce, typ, sériové číslo)
- Specifické podmínky prostředí, ve kterých zkouška proběhla
- Zkušební úroveň
- Jakékoli jevy způsobené vlivem rušivého signálu na zařízení
- Rozhodnutí a zdůvodnění zda zařízení vyhovělo nebo nevyhovělo zkoušce
- Jakékoli specifické podmínky potřebné k opakování zkoušky (např. délka kabelu, krytí)
- Náskres nebo obrázek zkušební sestavy

### **2.3 Zařízení zkoušená v navrhované laboratoři**

Před samotným návrhem laboratoře je nutné upřesnit, jaká zařízení budou v laboratoři zkoušena, tak aby bylo možné shrnout technické požadavky zkoušek a podle těchto požadavků vybrat příslušné zkušební vybavení a navrhnout vhodné pracoviště pro jednotlivé zkoušky. Laboratoř elektromagnetické kompatibility v OEZ Letohrad je primárně určena pro zkoušení elektromagnetické odolnosti jističů a motorových pohonů pro ovládání jističů společnosti Siemens řady 3VA.

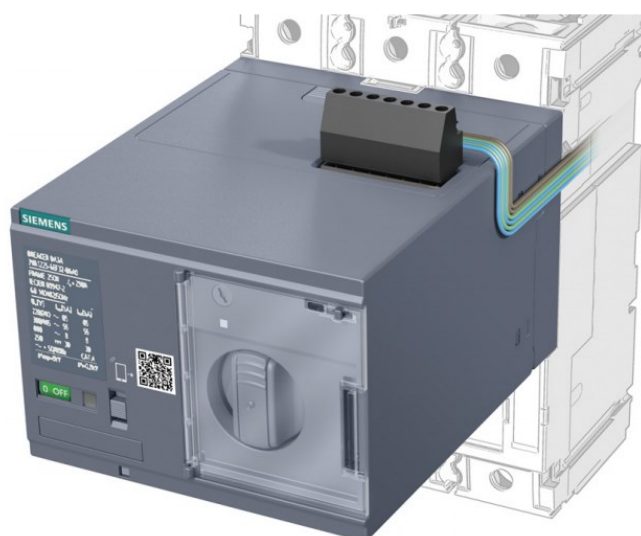
#### **Jističe 3VA**

Jističe společnosti Siemens řady 3VA jsou v současné době dostupné pro jmenovité proudy 100, 160, 250, 400 a 630 A a pro jmenovité napětí do hodnoty 690 V. vyrábějí se v troj nebo

čtyřpólovém provedení. Jističe jsou vybaveny buď digitální nebo analogovou nadproudovou a zkratovou spouští a v závislosti na velikosti jističe jsou schopné vypínat zkratové proudy až 150 kA. Rozměry jističe určeného pro napětí 690 V jsou výška: 248 šířka: 138 hloubka: 110 mm v třípólovém provedení. [25]

### **Motorové pohony 3VA**

Motorový pohon, spadající do kategorie příslušenství k jističi, je pomocné zařízení sloužící ke vzdálenému ovládání jističe (tlačítka nebo PLC), může být také ovládán místně pomocí otočné páky. Rozměry MO určeného pro jistič na napětí 690 V jsou v: 92 š: 138 h: 131 mm.



*Obr. 2.2.2. Motorový pohon Model MO320 umístěn na jističi*

Motorové pohony značky Siemens z řady 3VA jsou určeny pro jističe Siemens téže řady. V současné době jsou na trhu motorové pohony určené pro jističe o velikosti 100-630 A. Podle způsobu napájení se MO dělí na pohony napájené stejnosměrným napětím 24-60 V a 110-250 V a na pohony napájené střídavým napětím 110-230 V. [25]

### **2.3.1 Podmínky v laboratoři**

Klimatické a elektromagnetické podmínky v laboratoři je nutno udržovat tak, aby ovlivňovali výsledky zkoušky pouze minimálně, ideálně vůbec. Normou jsou předepsány tyto požadavky na prostředí, v němž bude zkouška provedena:

- Zkouška musí být provedena při relativní vlhkosti okolního vzduchu, která nezpůsobuje kondenzaci kapaliny na povrchu zkoušeného zařízení nebo zkušebního vybavení laboratoře. Další klimatické podmínky mohou být určeny prostředím, ve kterém bude zkoušené zařízení pracovat při jeho běžném provozu. Tyto podmínky sestavuje sám výrobce.
- Elektromagnetické podmínky v laboratoři jsou zásadní pro správné provedení zkoušky. Do zkušební místnosti nesmí vnikat cizí elektromagnetické pole, které by mohlo ovlivnit výsledky.

### 3 Elektromagnetická Odolnost

Elektromagnetická odolnost je schopnost zařízení správně fungovat bez zhoršení kvality funkce za přítomnosti elektromagnetického rušení. Toto rušení může být chápáno jako elektromagnetický jev, který může zhoršit funkci zařízení. V následující části této kapitoly jsou popsány normou vytipované druhy rušení, které mohou nepříznivě ovlivnit jističe a motorové pohony, a způsob jakým musí být tyto zařízení zkoušena, aby byla v souladu s platnými technickými předpisy a nařízeními. [23]

#### 3.1 Rozhodnutí o úspěšnosti zkoušky

Rozhodnutí zda zkoušené zařízení vyhovělo zkušebním požadavkům normy je posuzováno podle funkčního kritéria činnosti (ztráty funkce nebo zhoršení činnosti zařízení v průběhu zkoušky). Během zkoušky je EUT vystaveno různým úrovním zkušební veličiny a prověřuje se odolnost proti nežádoucímu zapůsobení a funkční charakteristiky zařízení. Pro jističe a pro jejich příslušenství, tedy motorové pohony, jsou definována kritéria:

- Normální činnost v stanovených mezích.
- Dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které přestane po odeznění rušivých vlivů a zařízení se vrátí k normálnímu chodu bez zásahu obsluhy.
- Dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které nepřestane po odeznění rušivých vlivů a pro návrat k normálnímu chodu je nutný zásah obsluhy.
- Trvalá ztráta funkce zařízení nebo zhoršení provozu z důvodu poškození hardwaru softwaru nebo ztrátě dat.

##### 3.1.1 Kritérium činnosti pro motorový pohon

Kritérium činnosti A: během zkoušky se nesmí změnit stav jističe ani stav výstupů indikace.

Kritérium činnosti B: stav jističe se nesmí změnit, zatímco stav indikace se může přechodně změnit, musí ale indikovat správný stav po zkoušce.

Pro obě tato kritéria platí zjednodušené funkční prověření prováděné po zkoušce. Motorový pohon, napájený dle pokynů výrobce, musí být schopný zapnout a vypnout jistič. V případě, že má motorový pohon daný rozsah jmenovitých napětí a frekvencí, musí být toto funkční prověření provedeno při jakémkoli z rozsahu jmenovitých napětí a frekvencí.

### **3.1.2 Kritérium činnosti pro jistič**

Kritérium činnosti A: V kroku 1 se prověřuje odolnost proti nežádoucímu zapůsobení. Jistič zatížený 0,9 násobkem proudového nastavení nesmí vypnout a případné monitorovací funkce musí správně indikovat stav jističe.

V kroku 2 se prověřují funkční charakteristiky. Jistič zatížený 2 násobkem proudového nastavení musí vypnout v době mezi 0,9 násobkem minimální hodnoty a 1,1 násobkem maximální hodnoty charakteristiky čas – proud. Případné monitorovací funkce musí správně indikovat stav jističe.

Kritérium činnosti B: Jistič zatížený 0,9 násobkem proudového nastavení nesmí vypnout. Po zkoušce musí jistič vyhovovat charakteristice čas – proud, udávané výrobcem, při 2 násobku proudového nastavení a případné monitorovací funkce musí správně indikovat stav jističe. [5]

## 3.2 Elektrostatické výboje

Problém ochrany zařízení proti statické elektřině má velký význam pro zákazníka i pro výrobce. Obrovský rozmach mikro elektroniky přinesl požadavek na řešení problému akumulace statické elektřiny a následných výbojů. Tyto výboje dosahují špičkové hodnoty v řádu desítek kilovoltů a mohou poškodit dané zařízení. Výboj vzniklý statickou elektřinou je většinou způsoben kombinací syntetických materiálů a suchého prostředí. [9]

Norma IEC 60947-2 rozlišuje přímé a nepřímé výboje, podle toho, zda je výboj aplikován přímo na zkoušené zařízení a nebo na kovový kryt. Kryt zde souží jako vazební deska ve smyslu normy IEC 61000-4-2.

Přímé výboje se dělí na dvě skupiny. První skupina jsou přímé kontaktní výboje, tyto výboje jsou aplikovány na uživateli běžně přístupné kovové části zařízení. Druhou skupinou jsou vzduchové výboje, tyto jsou aplikovány na nevodivá běžně přístupná místa. Nepřímý výboj je výboj aplikovaný na izolační kryt zařízení nebo skrze vazební desky. [5]

Zkoušky přímého výboje musí být provedeny pouze na částech EUT běžně přístupných uživateli jako jsou: prostředky nastavení, klávesnice, displeje, tlačítka apod. Nepřímé výboje musí být aplikovány na povrchu krytu. Požadavky na umístění zařízení do krytu jsou znázorněny na obrázku 3.2.3. Místa aplikace výboje musí být uvedeny ve zkušebním protokolu a musí být aplikovány přímé i nepřímé výboje, tak jak je naznačeno v obr. 3.2.2.

### 3.2.1 Zkušební úrovně

Pro jističe a příslušenství k jističi jsou definovány výboje o velikosti 8 kV. Vzduchové výboje do EUT musí být zkoušeny na všechny předešlé úrovně, to znamená, že zkouška probíhá při napětí 2, 4, 6 a 8 kV. Nepřímé výboje a kontaktní výboje do EUT jsou zkoušeny pouze napětím o velikosti 8 kV.

### 3.2.2 Zkušební vybavení

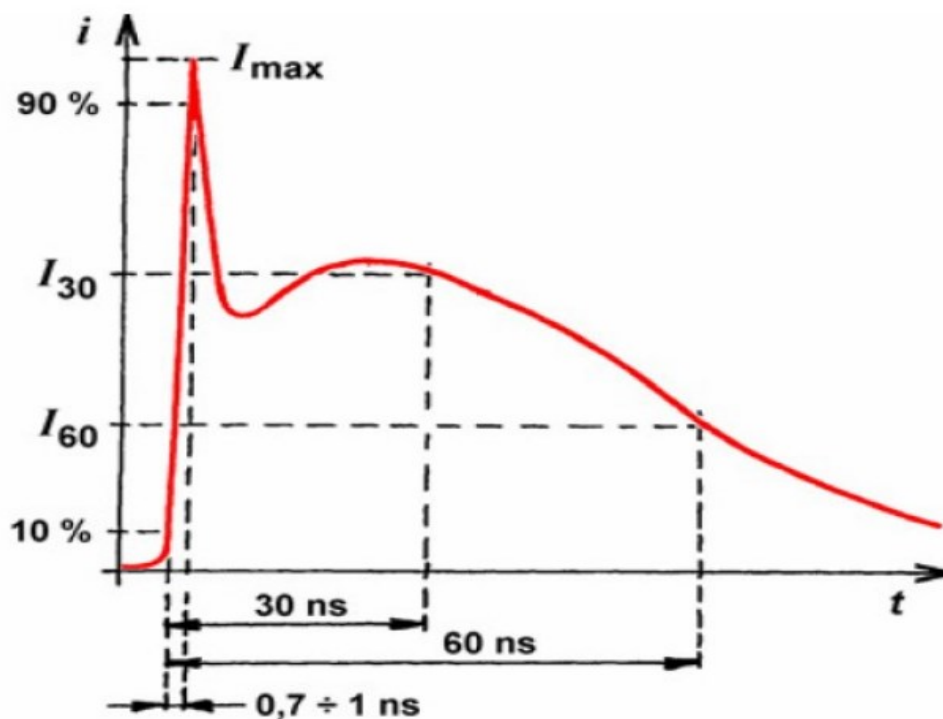
#### Generátor elektrostatického výboje

Elektrostatický výboj vytvořený člověkem držícím malý kousek kovu je základní předloha pro ideální průběh proudu výboje vytvořený generátorem. Výboj vytvořený člověkem, stejně jako generátorem je velmi silný zdroj elektromagnetického pole. [9]



Tab. 3.2.1. Specifikace zkušební generátoru

Parametr	Hodnota
Výstupní napětí, kontaktní výboj	1 – 8 kV, jmenovitá hodnota
Výstupní napětí, výboj ve vzduchu	2 – 8 kV, jmenovitá hodnota
Tolerance výstupního napětí	$\pm 5 \%$
Polarita výstupního napětí	Kladná a záporná
Výdrž	$\geq 5 \text{ s}$
Operační mód	Jednotlivé výboje



Obr. 3.2.1. ideální průběh proudové vlny při kontaktním výboji

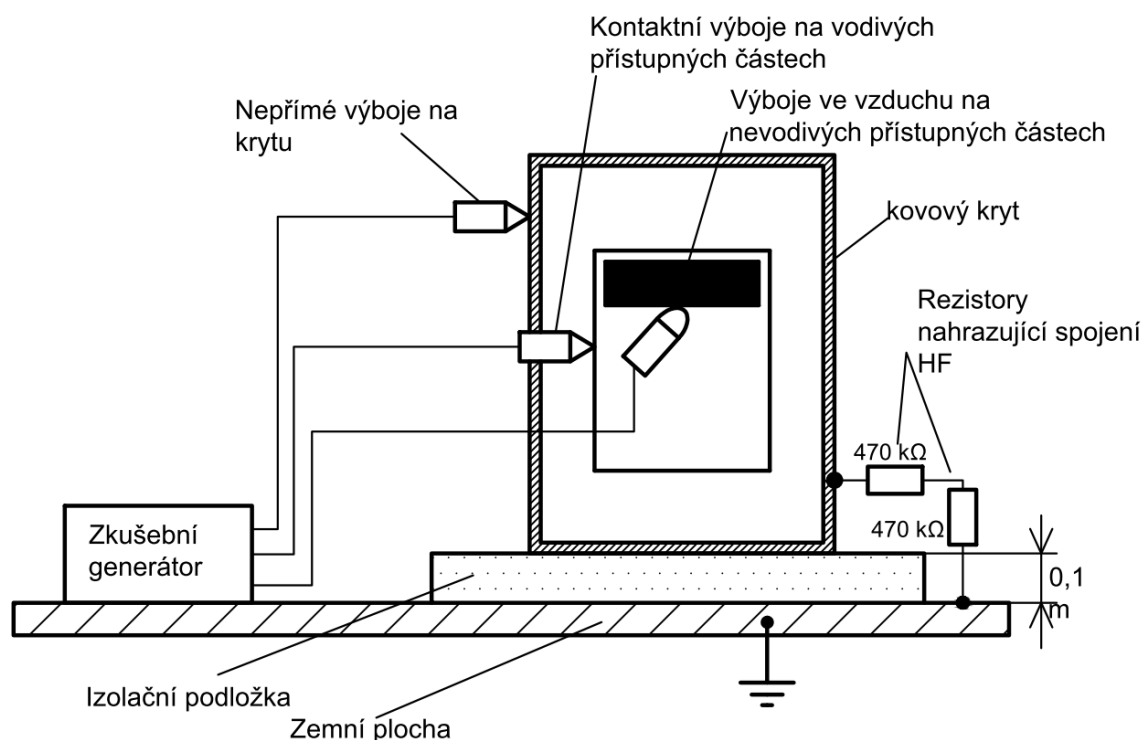
### 3.2.3 Zkušební sestava

Na podlaze laboratoře musí být položena referenční zemnicí plocha minimální tloušťky 0,25 mm při použití mědi nebo hliníku. Tato zemnicí plocha musí být umístěna mimo

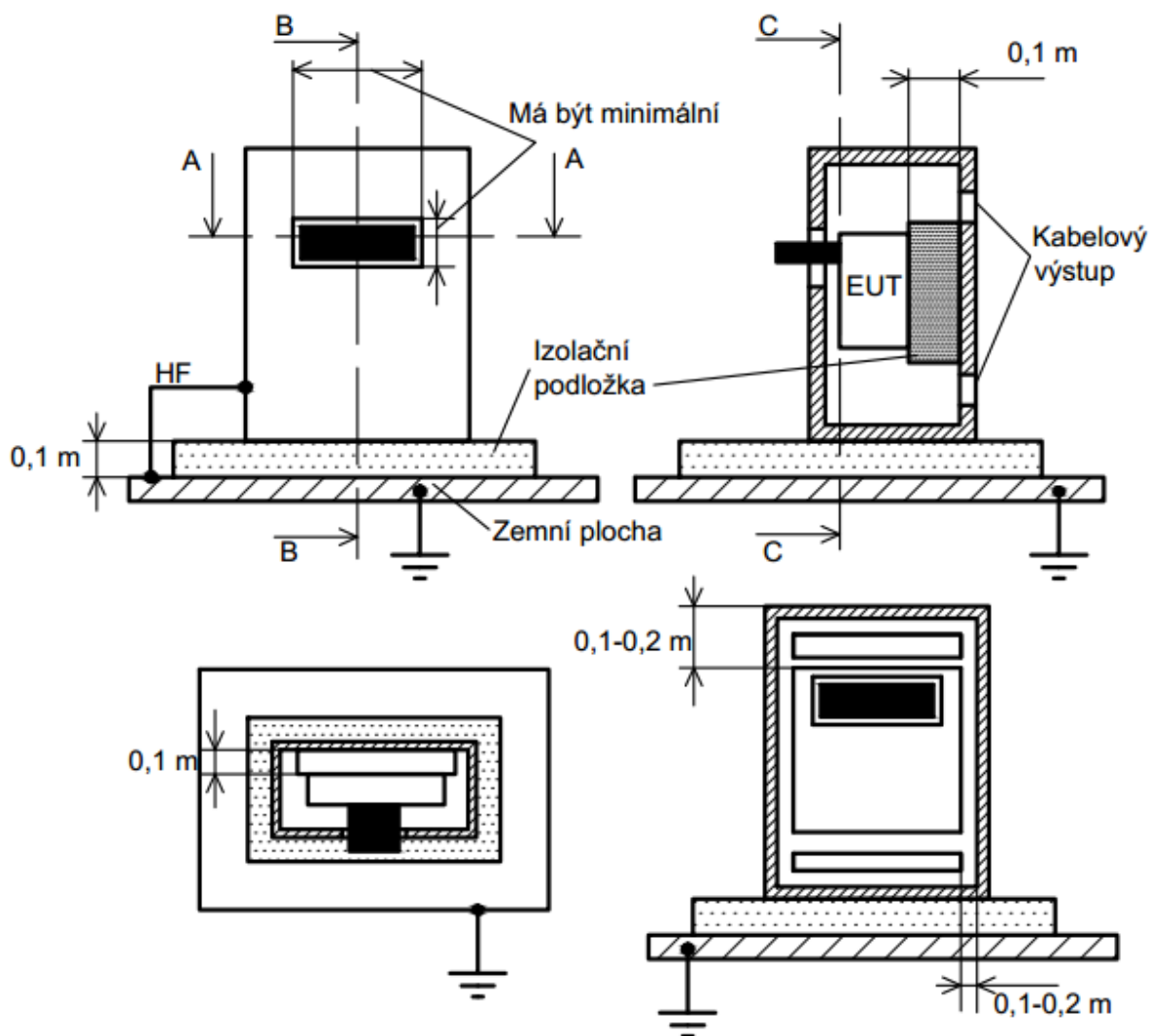
zkoušené zařízení a mimo horizontální vazební desku (pokud je použita) v minimální vzdálenosti 0,5 m z každé strany a musí být připojena k ochrannému zemnímu systému. [9]

Zkoušení zařízení musí být umístěno v kovovém krytu v minimální vzdálenosti 0,8 m od stěn laboratoře nebo jiné kovové konstrukce a musí být umístěno a zapojeno podle pokynů výrobce. EUT se zkouší jako zařízení stojanového typu, kovový kryt stojí na izolační podložce vysoké 10 cm umístěné na zemní referenční rovině. Kovový kryt je spojen se zemní rovinou dvěma sériově zapojenými rezistory o hodnotě 470 k $\Omega$ . Rezistory umístěné na obou koncích vodiče slouží k zamezení okamžitého vybití elektrostatického výboje do zemnicí plochy. V kovovém krytu je umístěno EUT podle specifikace výrobce.

EUT a zkušební generátor elektrostatických pulzů, včetně všech externích napájecích zdrojů, musí být uzemněny podle jejich specifikace, žádné další uzemnění není dovoleno. Spojení zemnicích vodičů a zemnicí plochy musí být provedeno nízko impedančními spoji například mechanickými svorkami pro vysokofrekvenční aplikace.



Obr. 3.2.2. Zkušební sestava pro ověření odolnosti ESD



Obr. 3.2.3. EUT instalované v kovovém krytu

### 3.2.4 Podmínky v laboratoři

Za účelem minimalizace vlivů prostředí na výsledky zkoušky musí samotná zkouška a kalibrace zkušebního zařízení probíhat v předepsaných klimatických a elektromagnetických podmínkách. Zvláště v případě zkoušení výboje ve vzduchu musí být klimatické podmínky udržované v následujících mezích:

Teplota okolí:	15 – 35 °C
Relativní vlhkost:	30 – 60 %
Atmosférický tlak:	86 – 106 kPa

### 3.2.5 Provedení zkoušky

Zkouška musí být provedena aplikací přímých a nepřímých výbojů na zkoušené zařízení podle test plánu. Test plán je sestaven před samotným měřením a jsou v něm definovány činnosti, které budou provedeny na daném zařízení a podmínky zkoušek a meze, které vymezí, zda zkoušené zařízení vyhovělo požadavkům. Při zkoušení jističe musí zkušební obvod odpovídat variantě a) obrázku 2.2.1., v případě spouští citlivých na ztrátu fáze variantě b) obrázku 2.2.1.

### Aplikace přímého výboje na EUT

Pokud není stanoveno jinak v dokumentaci od výrobce, musí být přímý elektrostatický výboj aplikován pouze na místa a povrch zkoušeného zařízení, který je přístupný uživateli během normálního užívání. Výboj není aplikován na tato místa:

- Body (místa) a povrch EUT přístupný pouze během údržby.
- Body a povrch EUT přístupný pouze během servisu koncovým uživatelem, např. kontakty pro připojení baterie během její výměny.
- Body a povrch EUT nepřístupné po instalaci podle pokynů výrobce, např. místa za zapojenými konektory.
- Kontakty koaxiálního nebo multipinového kabelu, které jsou opatřeny kovovými kryty. V tomto případě musí být výboj aplikován pouze na tento kovový kryt konektoru.
- Kontakty a konektory a jiné přístupné části, které jsou citlivé na elektrostatický výboj z důvodu jejich funkce a jsou označeny varovným štítkem, např. RF vstupy.

Zkouška musí být provedena jednotlivými výboji na každém předem vybraném místě alespoň desetkrát pro každou polaritu. Interval mezi jednotlivými výboji musí být alespoň jedna sekunda. V průběhu zkoušky by měla být elektroda generátoru umístěna kolmo k povrchu zkoušeného zařízení. Pokud tuto podmínku nelze dodržet, musí být tento fakt zaznamenán v protokolu o zkoušce.

Při zkouškách přímého výboje se musí elektroda dotýkat testovaného bodu před vysláním impulzu. Pokud však probíhá zkoušení přímého impulzu ve vzduchu, musí se elektroda generátoru přibližovat k povrchu, dokud nedojde k dotyku, tak rychle jak je to možné, ale tak aby nedošlo k mechanickému poškození povrchu. Pro zkoušku vzduchovým impulzem se používá zkušební hrot s půlkulovou hlavou.

Nepřímý výboj je aplikován, ostrým zkušebním hrotem, desetkrát pro každou polaritu do jednotlivých zkušebních bodů na kovovém krytu.

### **3.2.6 Vyhodnocení zkoušky**

Pro vyhodnocení výsledků zkoušky elektromagnetické odolnosti zkoušeného zařízení proti elektrostatickým výbojům, platí pro motorový pohon i pro jistič kritérium činnosti B podle odstavce 3.1.

### 3.3 Vysokofrekvenční elektromagnetická pole šířená vyzařováním

Většina elektronických zařízení se nachází v poli elektromagnetického záření. Toto záření je z převážné části způsobeno radiovými a televizními vysílači a různými průmyslovými zdroji elektromagnetického záření. Kromě záření potřebného pro funkci zařízení je generováno také nechtěné záření, které vzniká například u svářeček a zářivek. [10]

#### 3.3.1 Zkušební úrovně

Zkušební úrovně a frekvenční pásma jsou vybírány v souladu s předpokládaným elektromagnetickým vyzařováním, kterému bude EUT vystaveno po konečné instalaci. Pokud je EUT určeno pouze k instalaci na konkrétní místa, pak je možné zkoušet zařízení na konkrétní podmínky v daném místě, které jsou dány zdroji rušení v okolí. Požadovaná zkušební úroveň pro jističe a jejich příslušenství je 10V/m. [5, 10]

#### 3.3.2 Zkušební vybavení

Pro zkoušky odolnosti proti vyzařování cizích vysokofrekvenčních elektromagnetických polí jsou nutné tyto prostředky:

**Bezodrazová komora:** komora musí být dostatečně velká, aby byla schopna udržet homogenní elektromagnetické pole potřebných rozměrů vzhledem k rozměrům zkoušenému zařízení. Zkušební komora se obvykle skládá z absorberu lemovaného stínícím materiálem, velikost komory je navrhována podle velikosti EUT, které se budou v daném prostoru zkoušet. Komory mohou být provedeny jako bezodrazové nebo polobezodrazové. Přidružená stíněná komora musí být dostatečně velká na to, aby pojmulu zařízení generující pole, monitorovací zařízení a ovládací zařízení EUT. Polobezodrazové komory mají stínící kryt a absorbující materiál na stěnách a stropu (pro zmírnění odrazů od podlahy může být na podlaze umístěn blok bezodrazového materiálu, bezodrazové komory mají navíc oproti polobezodrazovým komorám stínící a bezodrazový materiál i na podlaze. Účel těchto materiálů je absorbovat vyzařovanou energii, která nesměruje přímo na EUT, aby nedocházelo k odrazům zpět do komory.

**Filtry elektromagnetické interference (EMI filtry):** musí být zajištěno, aby tyto filtry nepředstavovaly žádné přídavné rušení připojovací linky.

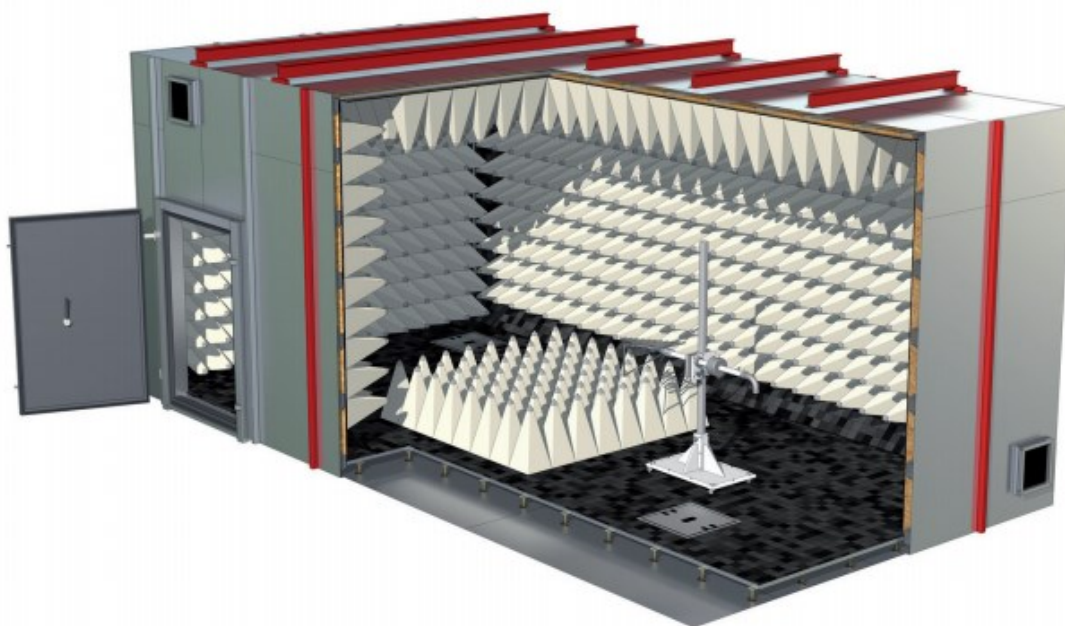
**Zdroj generující signál radiové frekvence:** Zdroj by měl být schopen pokrýt vyšetřované kmitočtové pásmo a měl by být modulovaný sinusovou vlnou 1 kHz s hloubkou modulace 80 %

**Výkonové zesilovače:** sloužící k zesílení signálu (modulovaného a nemodulovaného) a poskytují anténě dostatek energie k vytvoření potřebné intenzity elektromagnetického pole.

**Anténa generující pole:** jakákoliv lineárně polarizovatelná anténa schopná vyhovět požadavkům frekvence

**Izotropní snímač:** snímač elektromagnetického pole s dostatečným frekvenčním rozsahem pro měření rušivého signálu.

**Zařízení pro záznam:** zařízení sloužící k zaznamenání výkonové úrovně potřebné pro požadovanou intenzitu pole.



*Obr. 3.3.1. řez bezodrazovou komorou Frankonia [12]*

## **Antény generující pole**

### **Dvojkuželová (bikónická) anténa**

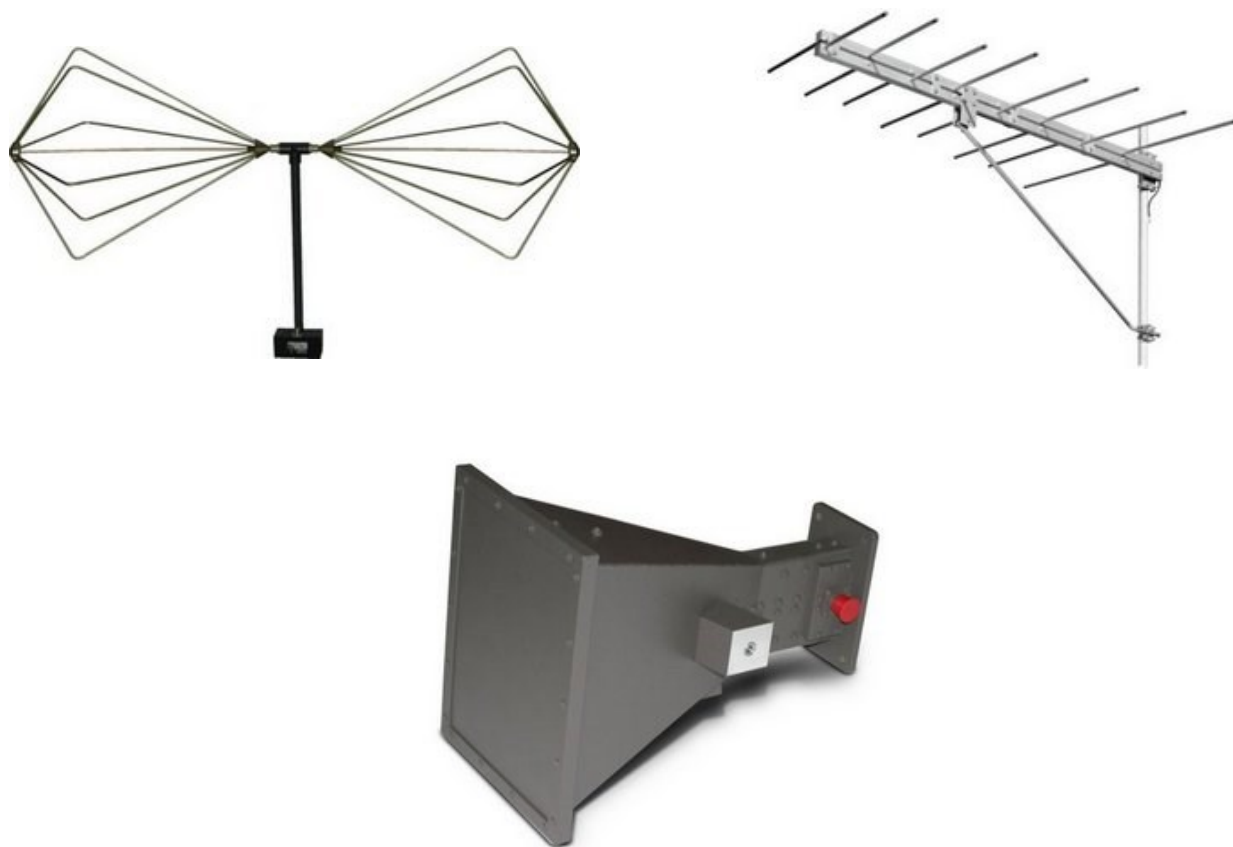
Tato anténa poskytuje široký frekvenční rozsah a může být použita jak pro příjem, tak pro vysílání signálu. Díky svým malým rozměrům je anténa vhodná do prostorů omezené velikostí, jako jsou bezodrazové komory.

### **Logaritmicko/periodická anténa**

Anténa je řada dipólů různé délky připojená k přenosové lince. U antén sloužících pro generování polí by měl být symetrizační člen provozován při potřebném výkonu.

### **trychtýřová anténa**

tento typ antén vytváří lineárně polarizované elektromagnetické pole. Obvykle se tyto antény používají při frekvencích nad 1 GHz



*Obr. 3.3.2. druhy zkušebních antén, zleva doprava – dvojkuželová, logaritmicko/periodická a trychtýřová anténa [11]*

### **3.3.3 Požadavky na zkoušku**

Vzhledem k velikosti generovaného pole musí být zkoušky provedeny ve stíněné místnosti, tak aby to bylo v souladu s národními a mezinárodními zákony o zákazu rušení radiových komunikací. Většina použitých zkušebních zařízení pro sběr dat je velmi citlivá na rušení okolním elektromagnetickým polem, zde tedy kryt slouží i jako bariéra pro ochranu měřicích přístrojů. [10]

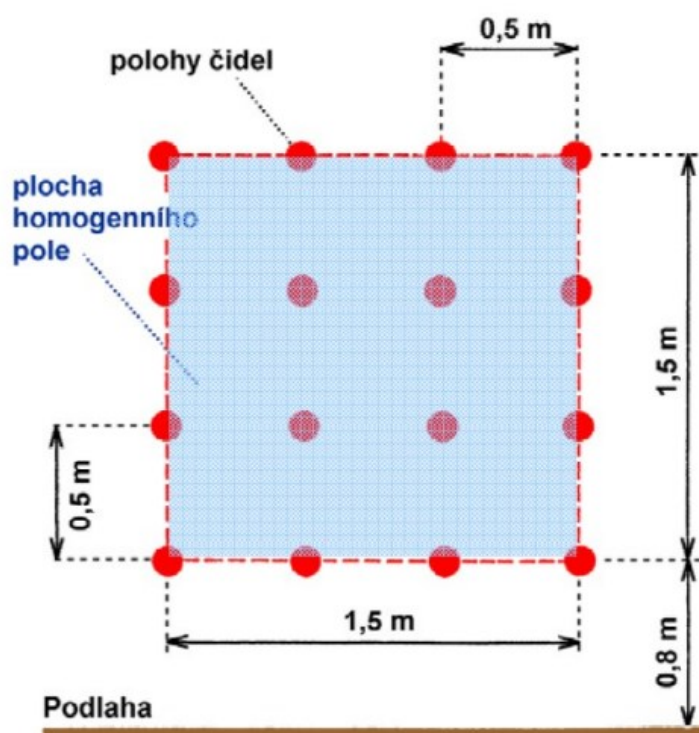


### **Kalibrace pole**

Účelem kalibrace pole je zajistit v průběhu zkoušky homogenní pole. Pojmem plocha homogenního pole (UFA) se rozumí svislá rovina, ve které jsou rozdíly veličiny pouze přijatelně malé. Kalibrace ověřuje schopnost zkušebního zařízení generovat homogenní pole. Spolu s kalibrací pole je získána i databáze pro nastavení intenzity pole pro zkoušky odolnosti EUT. Samotná kalibrace je provedena bez instalovaného EUT.

Kalibrace pole se provádí jednotně pro všechny typy zkoušených zařízení včetně polohy jejich kabelů. Během této procedury je intenzita pole v UFA přímo dána výkonem přenášeným anténou. Kalibrace je platná vždy jen do doby než dojde k přenastavení sestavy jednotlivých zdrojů v komoře, i malý posun antény, nebo absorpční desky na podlaze může způsobit značnou změnu pole. Pro případ opakování zkoušky musí být nastavení zkušební sestavy přesně zaznamenáno do protokolu o zkoušce a pro názornost mohou být pořízeny i fotky.

Plocha homogenního pole je umístěna ve výšce 0,8 m nad podlahou a její rozměry nesmí být menší než 1,5 x 1,5 m. Vlastní plocha homogenního pole je rozdělena po úsecích 0,5 m jak ukazuje obrázek 3.3.3. Pole se musí ověřit pro každou frekvenci a je považováno za homogenní, pokud je jeho hodnota v rozmezí  $-0$   $+6$  dB jmenovité hodnoty v 75 % měřicích bodů. [10]



Obr. 3.3.3. rozložení snímačů na ploše homogenního pole

Je-li plocha EUT určená ke zkoušení větší než 1,5 x 1,5 m a plocha homogenního pole nemůže být realizována po celé ploše EUT je možné ozařovat zkoušené zařízení po částech. Této sérii zkoušek se říká částečné ozáření.

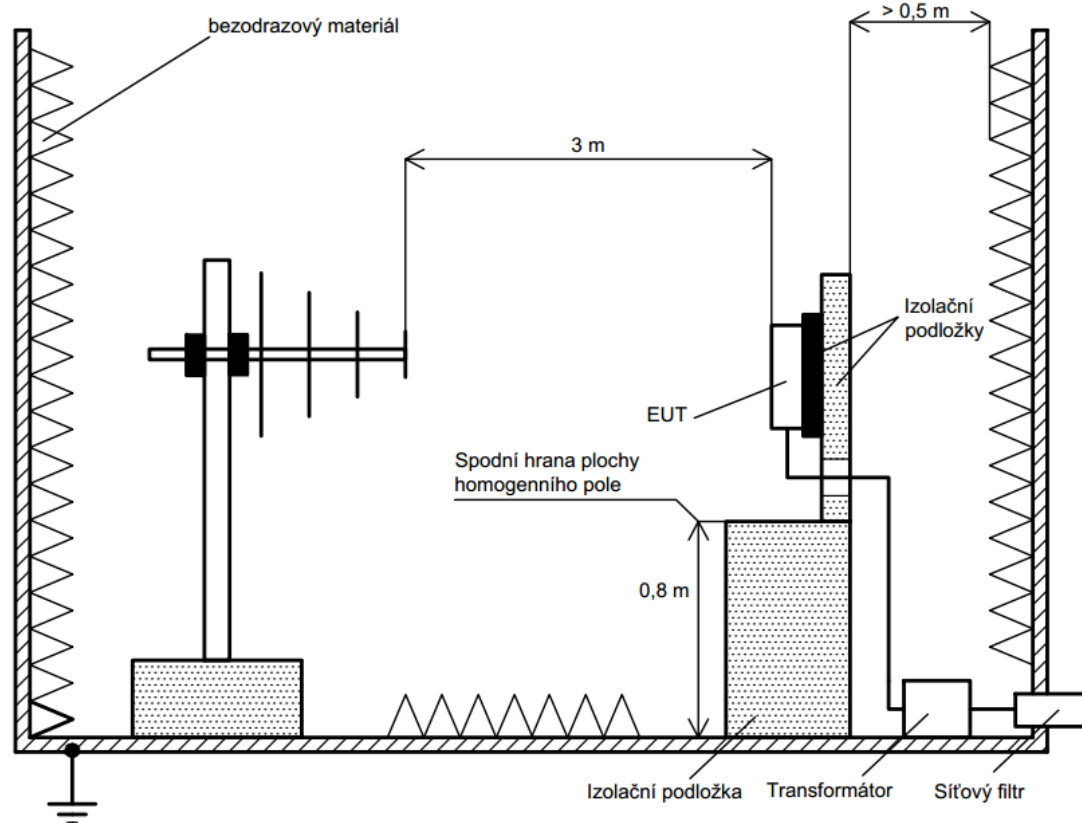
### Podmínky konfigurace

Veškeré zkoušky by měly být provedeny v konfiguraci co nejblíže skutečnému provedení instalace. Zapojení musí být provedeno v souladu s pokyny a doporučeními výrobce. Na zkoušeném zařízení musí být umístěny veškeré kryty a přístupové panely, pokud není uvedeno jinak. Kable by měly být připojeny k zkoušenému zařízení a umístěny podle pokynů výrobce a měly by kopírovat skutečný stav instalace.

### 3.3.4 Provedení zkoušky

EUT je umístěno ve volném vzduchu v ploše homogenního pole, jak ukazuje obrázek 3.3.4., a musí být zkoušeno pouze na čelní straně a zkušební sestava musí být podrobně zaznamenána v protokolu o zkoušce, tak aby bylo možné tuto zkoušku opakovat. Během ozařování zařízení vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem musí být zařízení zkoušeno na veškeré povely

ve všech módech. Doporučuje se i zkoušení speciálních programů zařízení. U jističe musí zkušební obvod odpovídat variantě a) v obrázku 2.2.1., v případě spouští citlivých na ztrátu fáze variantě b) obrázku 2.2.1.



*Obr. 3.3.4. zkušební sestava pro zkoušky odolnosti proti vyzařovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím*

Zkouška musí být provedena s anténou v poloze vertikální i horizontální. Samotná zkouška je pak provedena ve dvou krocích:

Krok 1 – Zkoušení nežádoucí činnosti – zkouška se provádí v rozsahu kmitočtů od 80 MHz do 1 GHz a od 1,4 GHz do 2 GHz. Klidová doba nosné vlny s amplitudovou modulací pro každý kmitočet musí být v rozmezí od 0,5 s do 1 s a velikost kroku musí být 1 % předcházejícího kmitočtu. Skutečná klidová doba musí být zaznamenána v protokolu.

Krok 2 – Zkoušení správné činnosti – V tomto kroku se ověřují funkční charakteristiky EUT. Zkouška musí být provedena při těchto kmitočtech: 80; 100; 120; 180; 240; 320; 480; 640; 960; 1400; 1920 MHz. Činnost EUT se ověřuje až po ustálení pole při každém kmitočtu. [5]

### **3.3.5 Vyhodnocení zkoušky**

Pro vyhodnocení výsledků zkoušky elektromagnetické odolnosti zkoušeného zařízení proti vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli šířenému vyzařováním, platí pro motorový pohon i pro jistič kritérium činnosti A z odstavce 3.1. Při zkoušení MO v kroku 2 musí motorový pohon při každém z uvedených kmitočtů vypnout a zapnout jistič.

### 3.4 Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů

Zkouška opakovaným rychlým přechodovým jevem je zkouška se skupinami impulzů obsahujícími velký počet rychlých přechodových jevů, zavedených do vstupů a výstupů napájení, ovládání, signálů a země elektrického zařízení. Charakteristické pro tuto zkoušku je vysoká amplituda, krátká doba náběhu, vysoký opakovací kmitočet a nízká energie přechodových jevů.

Zkouška je určena k prokázání odolnosti elektrického nebo elektronického zařízení je-li vystaveno přechodným rušením jako jsou rušení, jejichž původem je spínací přechodový jev (přerušování indukčních zátěží, odskočení kontaktů). [16]

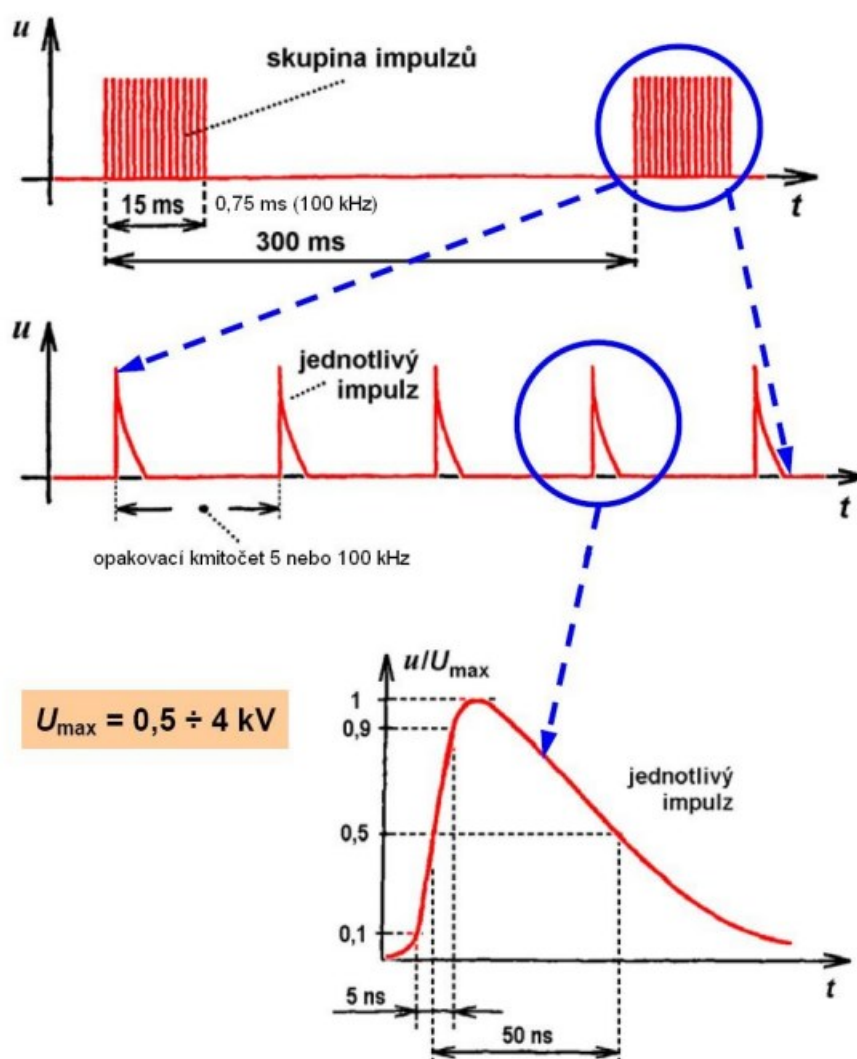
Skupina elektrických rychlých přechodových jevů/skupina impulzů (EFT/B) vzniká zejména spínáním indukčních zátěží. Tyto spínací přechodné jevy mohou být popsány prostřednictvím:

- Doby trvání skupiny impulzů – ta je určena energií uloženou v indukčnosti před spínáním
- Opakovacím kmitočtem jednotlivých přechodových jevů
- Proměnností amplitudy přechodových jevů tvořící skupiny pulzů, ta je dána mechanickými a elektrickými charakteristikami spínacího kontaktu.

Jak se mění vzdálenost od zdroje, mění se tvar vlny vlivem ztrát šíření, rozptylem, odrazy a vinou zkreslení způsobeného připojenými zátěžemi. Doba náběhu 5 ns se pro specifikace zkušebního generátoru považuje za kompromis, který bere v úvahu efekt útlumu vysokofrekvenčních složek při šíření jehlového impulzu.

Počet jehlových impulzů závisí na energii uložené ve spínané indukční zátěži a rovněž na výdržném napětí spínacích kontaktů. Počet jehlových impulzů přímo závisí na kmitočtu opakování jehlových impulzů a na době trvání skupiny impulzů. Podle změřených výsledků většina dob trvání skupin impulzů je v blízkosti 2ms.

Doba trvání 0,75ms byla zvolena jako referenční doba pro zkoušení při 100 kHz. Podle toho je výsledný počet jehlových impulzů/skupina pulzů.



Obr. 3.4.1. obecný průběh rychlého přechodného jevu/skupiny impulzů

### 3.4.1 Zkušební úroveň

Zkušební úroveň by měla být zvolena s ohledem na reálné podmínky v místě instalace. Podle intenzity přechodových jevů v místě instalace se prostředí dělí do čtyř úrovní. Norma IEC 60947 – 2 řadí jistič a jeho příslušenství do čtvrté úrovně, která je specifikovaná jako nepříznivé průmyslové prostředí kde:

- není potlačen EFT/B v napájecích a ovládacích obvodech, které jsou spínány pomocí relé a stykačů

- není zde oddělení průmyslových obvodů náležejících k nepříznivému průmyslovému prostředí od jiných obvodů náležejících k prostředí vyšších stupňů přísnosti.
- Není zde oddělení mezi napájecími, ovládacími, signálovými a komunikačními kabely a jsou použity vícežílové sdružené kabely pro ovládací a signálová vedení

EUT s jmenovitým pracovním napětím  $U_e \geq 100 \text{ V}$  (střídavým nebo stejnosměrným) musí být zkoušeno 4 kV na napájecích vstupech a výstupech a 2 kV na signálových vstupech a výstupech.

Běžně se používá opakovací kmitočet 5kHz; 100 kHz je však bližší realitě. O vhodnosti kmitočtu by měla rozhodnout výrobní komise.

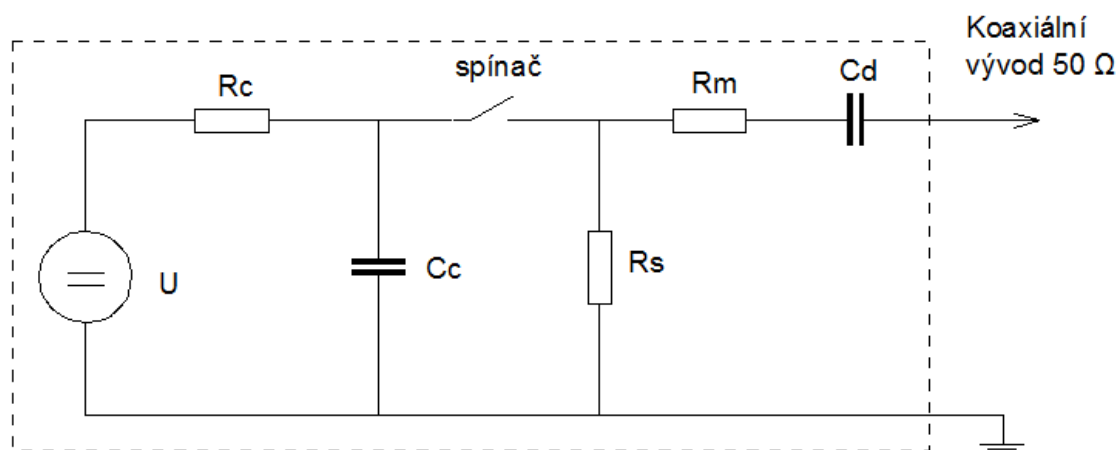
### 3.4.2 Zkušební vybavení

#### Generátor

Pro generování zkušebního signálu se používá generátor, který musí být schopen pracovat ve stavu nakrátko, naprázdno i při zátěži. Rozsah výstupního napětí se zátěží 1000  $\Omega$  musí být alespoň 0,25 – 4 kV. Rozsah výstupního napětí se zátěží 50  $\Omega$  musí být alespoň 0,125 – 2 kV.

#### Tvar impulzů

- Do zátěže 50  $\Omega$       doba náběhu  $t_r = 5 \text{ ns} \pm 30 \%$   
Doba trvání (půltýlu) = 50 ns  $\pm 30 \%$
- Do zátěže 1000  $\Omega$       doba náběhu  $t_r = 5 \text{ ns} \pm 30 \%$   
Doba trvání (půltýlu) = 50 ns s tolerancí -15 ns až + 100 ns



Obr. 3.4.2. zjednodušené schéma generátoru rychlých přechodových jevů

U	vysokonapětový zdroj	Rm	rezistor přispůsobující impedanci
Rc	nabíjecí rezistor	Cd	kondenzátor blokující stejnosměrný proud
Cc	kondenzátor akumulující energii		

### Ověření charakteristik generátorů rychlých přechodových jevů

Aby bylo možné porovnávat výsledky zkoušek prováděné různými generátory je nutné ověření charakteristik zkušebního generátoru, proto byl stanoven tento postup:

Výstup zkušebního generátoru musí být připojen ke koaxiálnímu zakončení s hodnotou impedance 50  $\Omega$  případně 1000  $\Omega$  a napětí je monitorováno osciloskopem. Doba náběhu, doba trvání impulsu, vrcholové napětí a opakovací kmitočet impulsů v jedné skupině impulsů se musí monitorovat stejně jako doba trvání skupiny impulsů a perioda skupiny impulsů. Při každém z nastavených napětí se změří výstupní napětí na zátěži  $50 \pm 1 \Omega$  [ $U_p(50 \Omega)$ ]. Toto změřené napětí musí být  $[0,5 U_p(\text{naprázdno})] \pm 10\%$ .

Při stejném nastavení napětí generátoru se změří napětí na zátěži  $1000 \pm 20 \Omega$ , toto změřené napětí musí být  $U_p(\text{naprázdno}) \pm 20\%$ .

### Vazební/oddělovací síť

Při zkoušce vstupů/výstupů střídavého nebo stejnosměrného síťového napájení se požaduje vazební oddělovací síť. Vazební režim sítě musí být nesymetrický a hodnoty vazebních kondenzátorů jsou předepsány na hodnotu 33 nF. A velikost oddělovací indukční cívky s feritem je větší než 100  $\mu\text{H}$ .



**Ověření charakteristik vazební/oddělovací sítě**

Tvar vlny generátoru se musí ověřit v nesymetrické vazbě na výstupu vazební/oddělovací sítě s jednoduchým zakončením  $50\ \Omega$  pro každou polaritu. Ověření se provede tak, že se na generátoru připojeném na vstup CDN nastaví jmenovité napětí 4 kV a na výstup CDN, kde je běžně připojeno EUT, se připojí zátěž  $50\ \Omega$ . Vrcholové napětí a tvar vlny se zaznamenávají. Doba náběhu impulzů (z hodnoty 10% na 90%) musí být  $5,5 \pm 1,5\ \text{ns}$  a doba půltýlu musí být  $45 \pm 15\ \text{ns}$ . Vrcholové napětí musí být  $2 \pm 0,2\ \text{kV}$

**Kapacitní vazební kleště**

Kapacitní vazební kleště umožňují vazbu rychlých přechodových jevů do zkoušeného obvodu bez jakéhokoliv galvanického spojení se svorkami vstupů a výstupů EUT. Vazební kapacita kleští je dána průměrem, materiálem a stíněním kabelu. Na obou koncích těchto kleští musí být umístěn vysokonapětový koaxiální konektor, aby se mohl zkušební generátor připojit na obě strany. Generátor musí být připojen k tomu konci kleští, který je nejbližší k EUT. Samotné kleště musí být co nejvíce uzavřeny, aby se dosáhlo maximální vazební kapacity mezi kabelem a kleštěmi. Vazební metoda pomocí kapacitních kleští se používá pro zkoušení I/O a komunikačních vstupů a výstupů. Vazební kapacita mezi kabelem a kleštěmi musí být v rozmezí od 100 do 1000 pF a izolační pevnost kleští musí být 5 kV. Kapacitní vazební kleště musí být mechanicky uspořádány takto: Výška spodní vazební desky  $100 \pm 5\ \text{mm}$ , šířka spodní vazební desky  $140 \pm 7\ \text{mm}$ , délka spodní vazební desky  $1000 \pm 50\ \text{mm}$ .

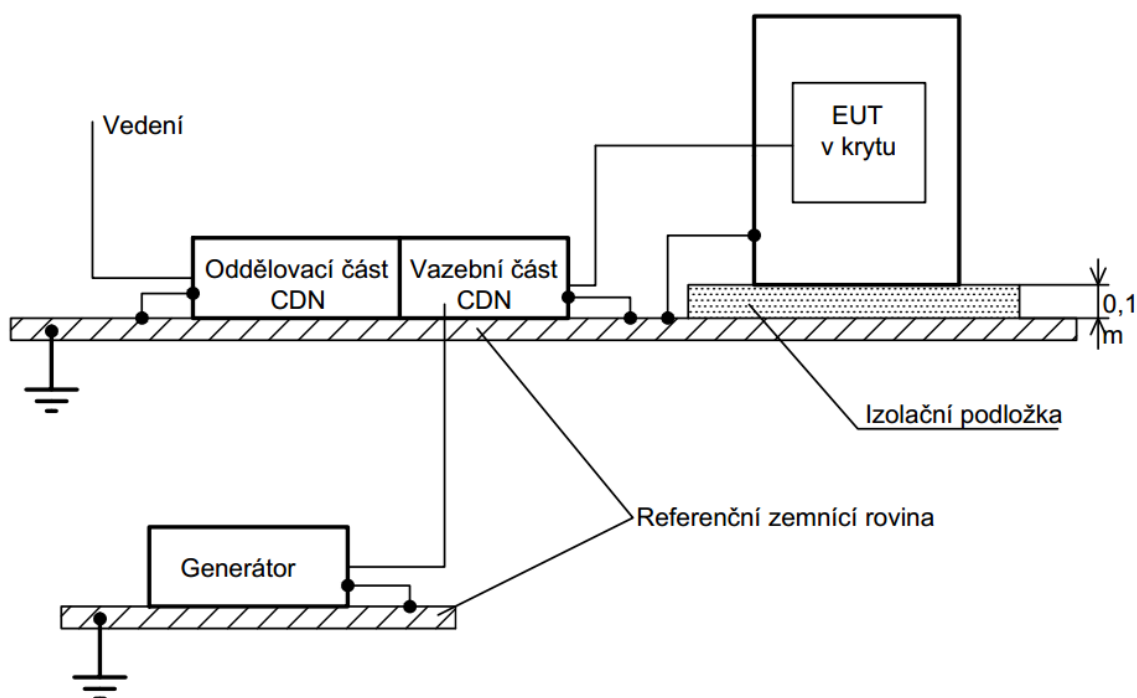
**3.4.3 Zkušební sestava**

Zkoušené zařízení musí být umístěno na referenční zemní rovině a musí od ní být izolováno izolační podložkou vysokou  $0,1\ \text{m} \pm 0,05\ \text{m}$ , jak je naznačeno na obr. 3.4.3. Zkušební generátor a CDN musí být umístěny přímo na referenční zemní rovině, provedené z hliníkového nebo měděného plechu o minimální tloušťce 0,25 mm a musí s ní být spojeny. Celkový rozměr referenční zemní roviny je potom určen rozměry EUT. rozměry této roviny musí být alespoň o 0,1 m větší, na všech stranách, než je průmět EUT, minimální rozměr roviny je však  $0,8 \times 1\ \text{m}$ .

Kabely vedoucí k EUT musí být umístěny na izolační podpěře 0,1 m nad referenční rovinou. Kabely, které se nevystavují rychlým elektrickým přechodovým jevům, musí být umístěny pokud možno co nejdále od zkoušených kabelů pro minimalizaci vazby mezi kabely. EUT musí být připojeno k uzemňovacímu systému podle specifikace výrobce a žádné další

uzemnění není dovoleno. Veškeré připojovací impedance uzemňovacích kabelů k referenční zemní rovině a všechny spoje musí vykazovat nízkou hodnotu indukčnosti.

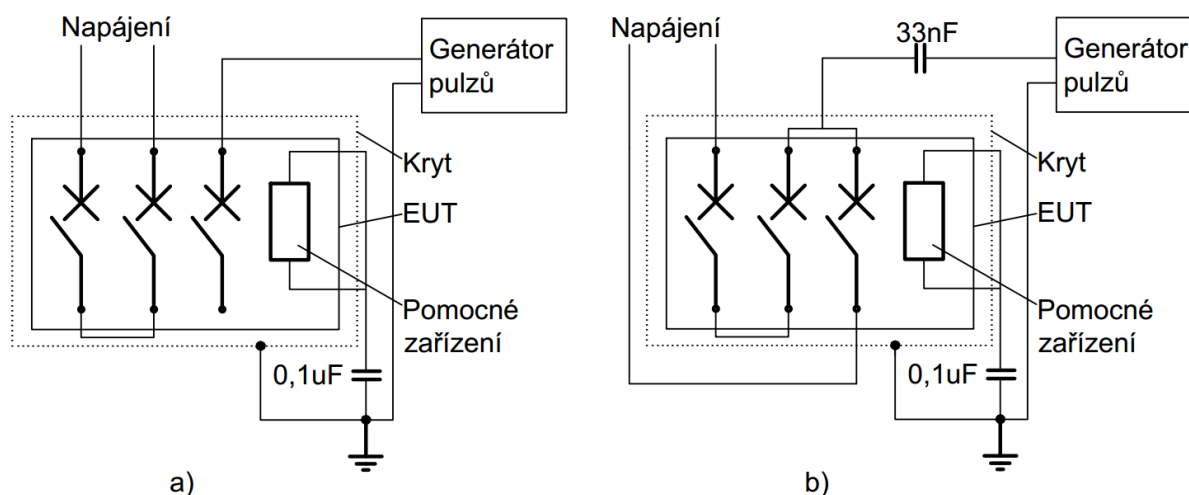
Při použití vazebních kleští je nejmenší vzdálenost mezi vazebními deskami a všemi ostatními vodivými povrchy s výjimkou zemní roviny a vazebními kleštěmi 0,5 m.



Obr. 3.4.3. uspořádání zkušebního pracoviště rychlých elektrických přechodných jevů

### 3.4.4 Provedení zkoušky

Zkoušené zařízení musí být během zkoušky umístěno v krytu, jak uvádí obrázek 3.2.3. Napájecí vstupy a výstupy musí být připojeny přes vazební/oddělovací obvod. Signálové vstupy a výstupy musí být připojené přes vazební/oddělovací obvod nebo musí být použita metoda vazebních kleští. Výjimku tvoří jističe, zde musí být napájecí vstupy a výstupy připojeny přes oddělovací transformátor na napájecí síť. Mezi napájecí sítí a transformátorem může být umístěna vazební/oddělovací síť. U třífázových jističů jsou pulzy aplikovány na náhodně zvolený pól, zbylé dva póly jsou spojené do série a napájeny předepsanou hodnotou napětí. Zkušební obvod musí odpovídat variantě a) v obrázku 3.4.4. a v případě spouští citlivých na ztrátu fáze musí zkušební obvod odpovídat variantě b) v obrázku 3.4.4.



Obr. 3.4.4. zkušební obvod pro zkoušení odolnosti jističů elektrickými rychlými přechodovými jevy.

Rušivý signál musí být na EUT aplikován po dobu 1 minuty. A v případě jističe v kroku dva je rušení aplikováno až do vypnutí jističe. Před zkouškou je nutné zkontrolovat funkci zkušebního zařízení. Dostatečná kontrola je existence skupiny pulzů generátoru na výstupu vazebního přístroje. [5]

### 3.4.5 Vyhodnocení zkoušky

Výsledek zkoušky se hodnotí podle kritéria činnosti. Pro motorový pohon musí být splněno kritérium činnost A z odstavce 3.1. Pro jistič platí doplněné kritérium činnosti A, kdy během zkoušky může dojít k přechodné změně monitorovacích funkcí. Po zkoušce však musí být prověřena správná funkce monitorování.

### 3.5 Rázový impulz

Rázem rozumíme přechodovou vlnu elektrického proudu, napětí nebo výkonu šířící se po vedení nebo obvodem, charakterizovanou prudkým nárůstem a pozvolnějším poklesem. [14]

#### Přechodový děj při spínání

V reálné elektrické síti neexistuje možnost přechodu z jednoho ustáleného stavu skokem do druhého ustáleného stavu. Každý přechod je provázen přechodným jevem, jehož důsledkem může vzniknout přepětí v daném obvodu. [13]

Přechodové děje provázející spínání jsou nejčastěji způsobeny:

- spínáním kapacitních proudů
- náhlou změnou zatížení nebo spínací aktivitou v distribuční síti
- rezonančními obvody spojenými se spínacím zařízením např. tyristory
- poruchovými stavy, jako jsou zkraty a zemní spojení.

#### Atmosférické přechodové děje

Atmosférický přechodový děj může být způsobený buď přímým úderem blesku do zařízení a nebo úderem do jeho bezprostředního okolí. Atmosférická přepětí se dělí podle příčiny vzniku do těchto skupin:

- přechodový děj způsobený přímým úderem blesku do zařízení
- přechodový děj způsobený úderem blesku do bezprostřední blízkosti zařízení
- přechodový děj způsobený úderem blesku do země v blízkosti uzemnění zařízení, kdy se bleskový proud dostane na zemnicí systém zařízení.

##### 3.5.1 Zkušební úrovně

Zkoušené zařízení, s jmenovitým pracovním napětím  $U_e \geq 100 \text{ V AC}$ , se musí zkoušet rázovým napětím o velikosti 4 kV mezi fází a zemí a 2 kV mezi fázemi. Tyto zkušební hodnoty odpovídají úrovni třídy 4 specifikovanou normou IEC 61000-4-5 jako prostředí, ve kterém dochází k zemním spojení a atmosférickým jevům generující napětí s vysokou amplitudou.

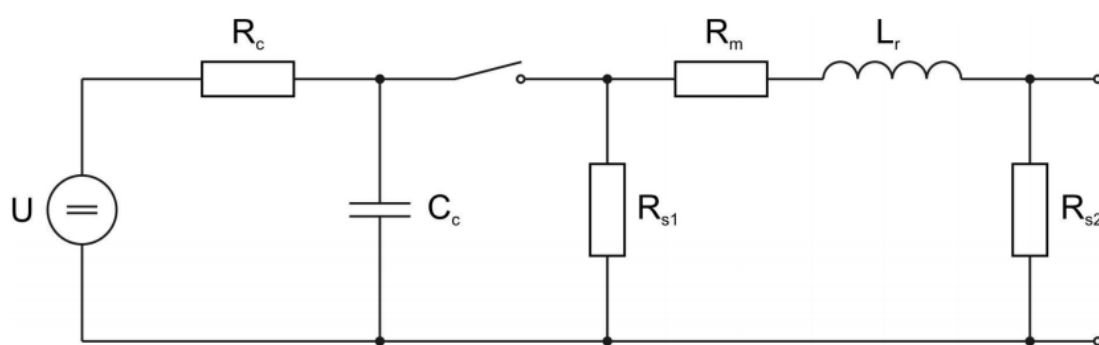
##### 3.5.2 Zkušební vybavení

Pro zkoušku rázů jdou používány dva typy generátorů. Každý z nich má své vlastní uplatnění v závislosti na typu portu, který má být zkoušen. Generátor vlny 10/700  $\mu\text{s}$  se používá pro

porty určené k připojení symetrické komunikační linky. Pro všechny ostatní případy, zejména pro porty určené k napájení, se používá generátor vlny  $1,2/50 \mu s$ .

### Kombinovaný generátor vlny $1,2/50 \mu s$

Pro zkoušení napájecích a signálových vstupů jističů a jejich příslušenství se používá generátor kombinované vlny  $1,2/50 \mu s$ . Průběh impulzu vytvořený generátorem je určen pro napěťovou vlnu při rozpojených svorkách generátoru a pro proudový impulz při zkratovaných výstupních svorkách. Hlavními údaji popisující tvar vlny je doba čela a doba půltýlu. Tvar napěťové vlny je na obr. 3.5.2. a tvar proudové vlny je na Obr. 3.5.3.



Obr. 3.5.1. zjednodušené obvodové schéma generátoru vlny  $1,2/50 \mu s$

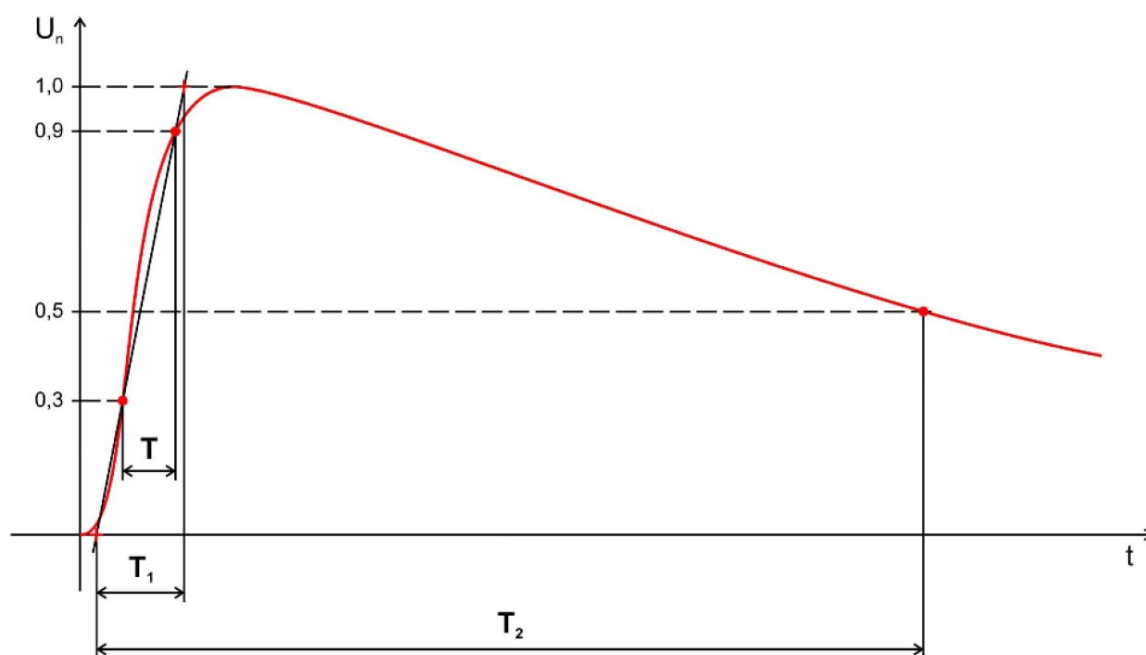
Kde:

$U$	vysokonapěťový zdroj
$R_c$	nabíjecí odpor
$C_c$	akumulační kondenzátor
$R_{s1}, R_{s2}$	odpory pro tvarování vln
$R_m$	odpor pro impedanční přizpůsobení
$L_r$	indukčnost pro nastavení doby čela

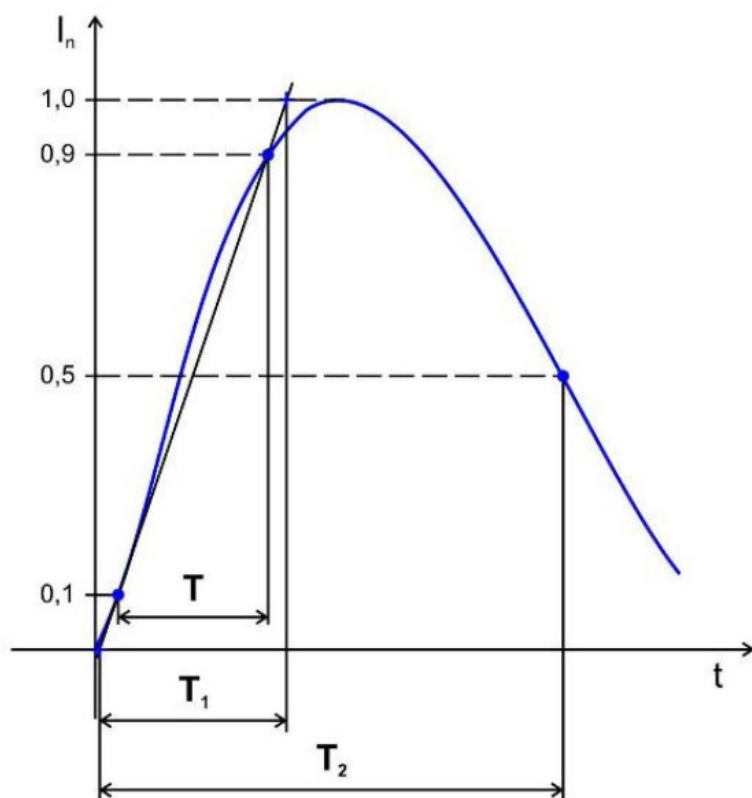
### Tvar vlny

V případě že je ráz aplikován z výstupu generátoru přímo na EUT, pak odpovídá vlna na výstupu generátoru parametrům, jaké jsou uvedeny pod obr. 3.5.2. a 3.5.3. Pokud jsou svorky generátoru připojeny na EUT přes vazební/oddělovací síť není nutné, aby tvar vlny byl stejný na výstupu generátoru i na výstupu z vazební sítě. Rozhodující je tvar vlny na výstupu vazební sítě sejmutý bez připojeného zkoušeného zařízení. Poměr špičkové hodnoty napětí

naprázdno k špičkové hodnotě proudu nakrátko může být vyjádřen efektivní výstupní impedancí. Pro tento generátor poměr určuje efektivní výstupní impedanci  $2\Omega$ . [14]



Obr. 3.5.2. průběh napěťové vlny 1,2/50  $\mu s$  na výstupu generátoru naprázdno



Obr. 3.5.3. průběh proudové vlny 8/20  $\mu$ s na výstupu generátoru nakrátko

Tab. 3.5.1. Vztah mezi špičkovou hodnotou napětí a špičkovou hodnotou proudu

Špičková hodnota napětí naprázdno $\pm 10\%$	Špičková hodnota proudu nakrátko $\pm 10\%$
0,5 kV	0,25 kA
1 kV	0,5 kA
2 kV	1 kA
4 kV	2 kA

### Kalibrace generátoru

Aby bylo možné porovnávat výsledky zkoušek z různých generátorů, musí být generátory pravidelně kalibrovány. Z tohoto důvodu je nutné měření základních charakteristik generátoru.

Výstup generátoru musí být připojen k měřicímu zařízení s dostatečnou širokopásmovou a napětovou schopností sledovat průběhy křivek. Charakteristiky generátoru se ověřují na externím kondenzátoru velikosti  $18\ \mu\text{F}$  v sérii s výstupem generátoru, ve stavu na prázdno (zátěž musí být větší nebo rovna  $10\ \text{k}\Omega$ ) a ve stavu na krátko. Po kalibraci se musí na výstup generátoru objevit vlny totožné s vlnami jaké je charakterizovány na 3.5.2. a 3.5.3.

### **Vazební/oddělovací síť**

Při zkouškách elektromagnetické odolnosti hraje důležitou roli způsob navázání zkušební (rušivého) signálu k EUT, tedy k jeho napájecímu přívodu, k signálovým a napájecím svorkám případně k dalším vstupům zařízení. Vazební/oddělovací obvod plní tyto funkce:

Vazební funkce umožňuje přenos rušivého signálu z generátoru do energetických, ovládacích či dalších vstupů EUT v požadovaném pásmu kmitočtů a současně blokuje zpětný vliv síťového nebo signálního napětí zařízení na generátor.

Oddělovací funkce zabraňuje zpětnému šíření rušivého signálu do vnější napájecí, signálové nebo datové sítě připojené ke zkoušenému zařízení. Tato zpětná filtrace tak zajišťuje, aby působení rušivého signálu bylo skutečně omezeno pouze na zkoušené zařízení a nezkoušené prvky připojené k téže síti byly chráněny. Současně je vyloučen i vliv impedance vnější sítě na tvar či velikost generovaného zkušební signálu. [8, 14]

### **3.5.3 Provedení zkoušky**

Zkoušené zařízení musí být umístěno v krytu podle obrázku 3.2.3. Napájecí šňůra spojující EUT a vazební/oddělovací síť nesmí být delší než 2m.

Na EUT musí být přiváděny pulzy s kladnou i zápornou polaritou, při fázových úhlech  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . Pro každou polaritu a každý fázový úhel musí být aplikována série pěti impulzů, dohromady tedy dvacet impulzů. Interval mezi jednotlivými pulzy by měl být asi jedna minuta, může být i kratší po domluvě s výrobcem. Aby byla během zkoušky zohledněna nelineární charakteristika EUT musí být zkoušena nejen předepsaná hodnota zkušební veličiny ale i veškeré předešlé zkušební úrovně. To znamená, že spolu se zkušební hodnotou napětí 4 kV bude EUT zkoušeno také hodnotami napětí 0,5; 1 a 2 kV.

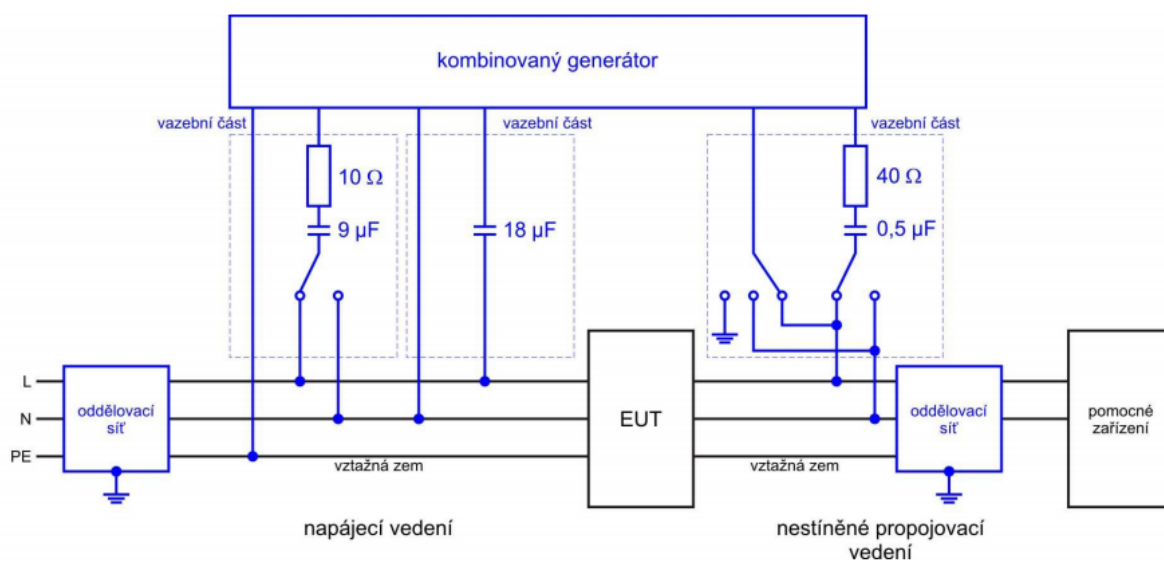
Před zahájením zkoušky je nutné ověřit funkci generátoru a vazební/oddělovací sítě. Za dostatečnou kontrolu je považována existence výboje v obvodu.

Zkušební ráz je aplikovaný na signálové a napájecí vstupy EUT skrze kapacitní vazební síť. Vazební síť používaná pro zkoušení jističů se musí skládat z rezistoru  $R = 10\ \Omega$  a

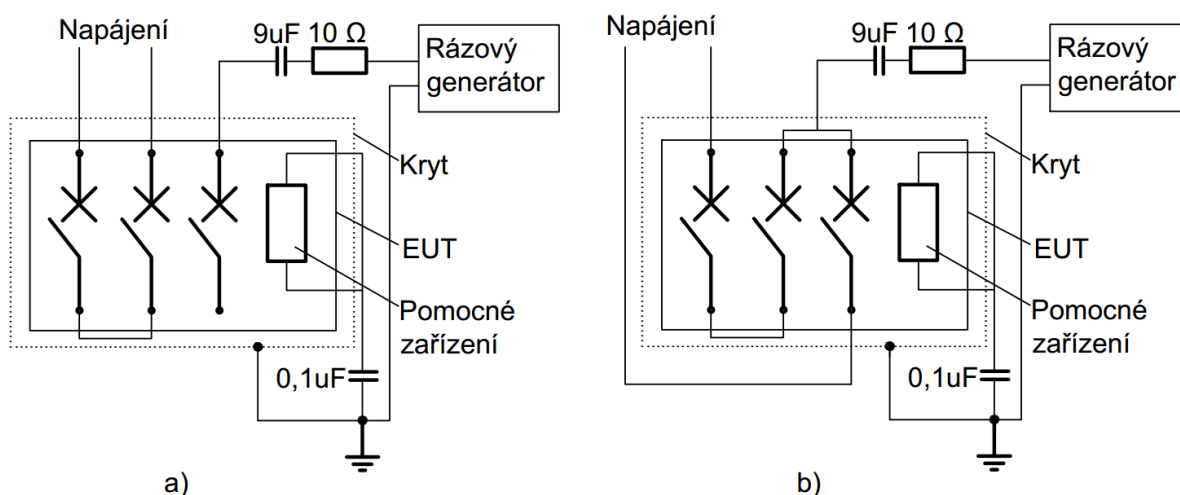


kondenzátoru  $C = 9 \mu\text{F}$  pro rázy přiváděné mezi fází a zem a pouze z kondenzátoru s kapacitou  $C = 18 \mu\text{F}$  při aplikování rázů mezi fázemi. Pro motorové pohony nejsou normou definovány parametry vazební sítě.

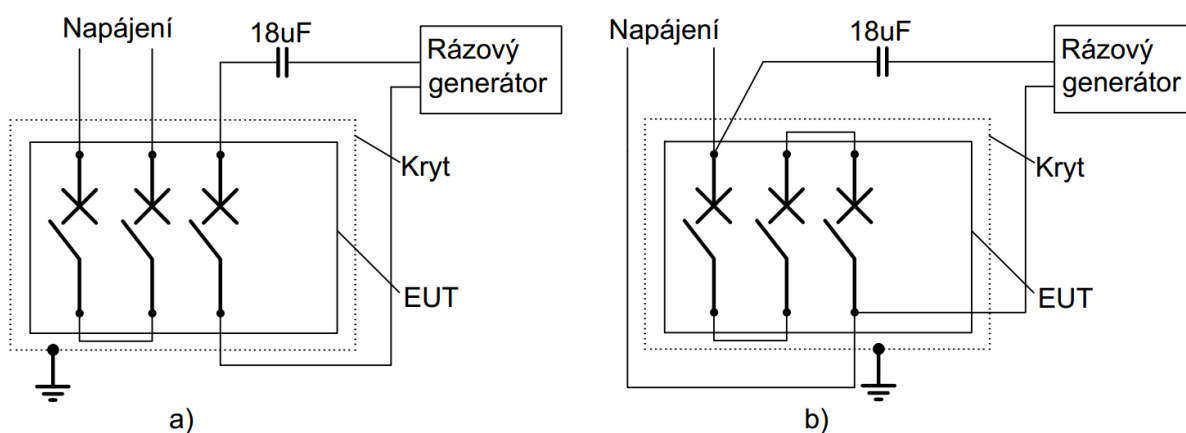
U třífázových jističů jsou rázy aplikovány na náhodně zvolený pól, zbylé dva póly jsou spojené do série a napájeny předepsanou hodnotou napětí. Zkušební obvod při zkouškách jističe musí odpovídat variantě a) v obrázku 3.5.5. a 3.5.6., v případě spouští citlivých na ztrátu fáze musí zkušební obvod odpovídat variantě b) v obrázku 3.5.5. a 3.5.6.



Obr. 3.5.4. zkušební zapojení pro zkoušku odolnosti rázy s příklady několika vazebních sítí



Obr. 3.5.5. zkušební obvod pro zkoušení odolnosti jističů proti rázům mezi fází a zemí



Obr. 3.5.6. zkušební obvod pro zkoušení odolnosti jističů proti rázům mezi fázemi

### 3.5.4 Vyhodnocení zkoušky

Pro vyhodnocení výsledků zkoušky elektromagnetické odolnosti zkoušeného zařízení proti rázům, platí pro motorový pohon i pro jistič kritérium činnosti B z kapitoly 3.1.

### 3.6 Rušení šířené vedením indukované vysokofrekvenčními poli

V tomto případě je zdrojem rušení elektromagnetické pole způsobené vysokofrekvenčními vysílači v kmitočtovém rozsahu od 150 kHz do 80 MHz, které může nežádoucím způsobem ovlivňovat kabely spojené se zkoušeným zařízením po celé jejich délce. Vstupní a výstupní kabely zařízení se chovají jako pasivní anténa. Na rozdíl od zkoušek vysokofrekvenčních polí šířených vyzařováním se rušení do zkoušeného zařízení dostává skrze kabely nikoli přímo. [17]

Rozměry zkoušeného zařízení jsou zde považovány za malé ve srovnání s délkou vlny. Naopak přírodní a výstupní kabel EUT fungující jako anténa mohou být několikanásobně delší než je délka vlny. Během zkoušky je kabelový systém zařízení v rezonanci ( $\lambda/4$ ,  $\lambda/2$  otevřené, nebo skládané dipóly). Tento stav je docílen pomocí vazebních a oddělovacích komponentů, jejichž impedance je vůči referenční zemní rovině 150  $\Omega$ . [17]

#### 3.6.1 Zkušební úrovně

Na jednotlivé vstupní a výstupní kabely zkoušeného zařízení je přiváděn zkušební signál, který musí být amplitudově modulovaný sinusovým signálem o frekvenci 1 kHz do hloubky 80%. Jako zdroj rušivého signálu slouží vysokofrekvenční generátor, který je připojený na zkoušené kabely skrze vazební obvod. Zkouška se provádí při napětí 10 V ve frekvenčním rozsahu od 150 kHz do 80 MHz v krocích po jednom procentu. Funkce EUT je kontrolována vždy až po stabilizaci pole na jednotlivé frekvenci. [5, 17]

#### 3.6.2 Zkušební vybavení

##### Zkušební generátor

Zkušební generátor obsahuje veškeré vybavení a komponenty potřebné ke generování rušivého signálu pro všechna vazební zařízení v daném místě a s danou velikostí signálu. Jednotlivé části mohou být separátní nebo integrované do jednoho zařízení.

Výstupní impedance generátoru je 50  $\Omega$ , nechtěné harmonické zkreslení musí být o 15 dB menší než je velikost amplitudově modulované nosné. Amplitudová modulace nosné musí být  $(80 \pm 5) \%$  při frekvenci  $f = 1 \text{ kHz} \pm 10\%$  a výstupní hodnotě napětí 10 V.

### **Kalibrace generátoru**

Během nastavování zkušebního generátoru by měly být všechny vazební/oddělovací zařízení, pomocná zařízení i EUT odpojeny od generátoru aby nedošlo k jejich poškození.

Při kalibraci se nastavuje nemodulovaná nosná na výstupu generátoru a správnost hodnoty se ověřuje měřením, takto musí být prověřeny veškeré kmitočty, které mají být použity při zkoušce.

### **Vazební a oddělovací zařízení**

Tato zařízení slouží k vytvoření vhodné vazby, zaručující plný rozhas kmitočtů rušivého signálu na jednotlivé kabely spojené s EUT a zároveň brání nevhodnému šíření rušivého signálu na okolní zařízení a do sítě. Vhodná vazba může být dosažena těmito prostředky:

#### **Vazební a oddělovací síť**

Vazební/oddělovací síť – pro nestíněná symetrická vedení

Vazební/oddělovací síť – pro napájecí vedení

Vazební/oddělovací síť – pro nestíněná nesymetrická vedení

Vazební/oddělovací síť – pro stíněná vedení

Vazební/oddělovací síť – pro nestíněná datová vedení

Vazební/oddělovací síť – pro stíněná datová vedení

### **Klešťové injektování**

Proudové kleště – vytvoří induktivní vazbu na kabel EUT.

Elektromagnetické kleště – vytvoří jak kapacitní tak induktivní vazbu na kabel EUT

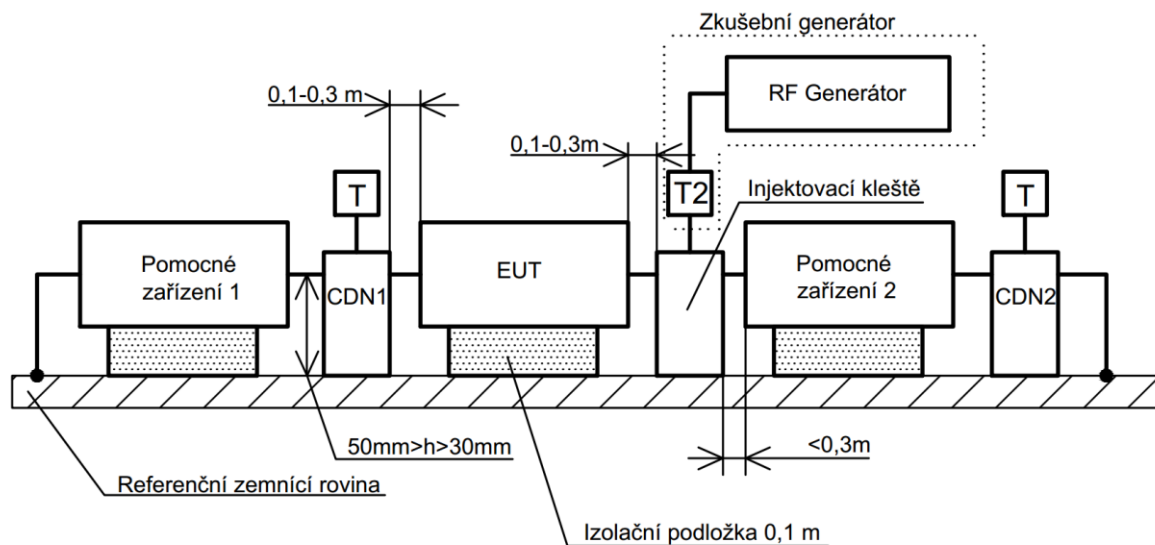
### **Přímé injektování**

Rušivý signál je ze zkušebního generátoru zaveden do koaxiálního nebo stíněného kabelu přes rezistor o velikosti  $100\ \Omega$ . Co nejbližší k bodu injektování musí být vložen mezi pomocné zařízení a tento bod vložen oddělovací obvod. [17]

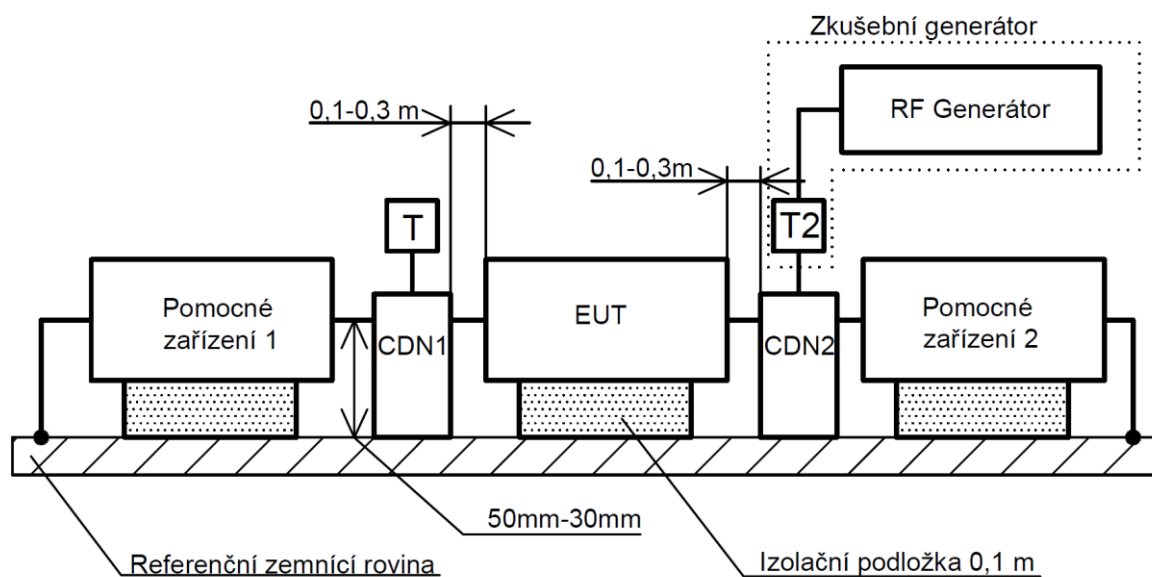
### 3.6.3 Provedení zkoušky

Zkoušené zařízení musí být zkoušeno ve volném vzduchu a umístěno ve výšce  $0,1 \pm 0,05$  m nad referenční zemnicí rovinou a všechny vstupní a výstupní kabely EUT musí být umístěny ve výšce 30 – 50 mm nad referenční zemnicí rovinou a nesmí být umístěny ve svazku ani ovinuty.

Zkouška musí být provedena postupně na všech kabelech. Kabely, které nejsou zrovna zkoušeny, musí být buď odpojeny, pokud to umožní funkce zařízení, nebo opatřeny oddělovacím zařízením. Zkoušené kabely jsou přes vazební zařízení připojené na generátor, jak je naznačeno na obrázku 3.6.1. a 3.6.2., vazební/oddělovací zařízení je ve vzdálenosti od zkoušeného zařízení 0,1 – 0,3 metrů na obou stranách. Rušivý signál se uzavírá do zemnicí referenční roviny přes pomocné zařízení, to je zařízení sloužící k ověření funkčnosti EUT. U jističe zkoušení probíhá na jednom náhodně zvoleném pólu. Zapojení odpovídá variantě a) v obrázku 2.2.1., v případě spouští citlivých na ztrátu fáze variantě b) v obrázku 2.2.1. [5, 17] Samotná zkouška se provádí ve dvou krocích, v kroku 1 se zkouší nežádoucí činnost EUT v celém rozsahu kmitočtů. Frekvenční rozsah rušivého signálu, nastaveného během kalibrace zkušební soustavy, se mění v rozsahu od 150 kHz do 80 MHz. Velikost změny frekvence nesmí překročit 1 % předcházející hodnoty frekvence. Klidová doba mezi jednotlivými rušivými signály každé frekvence nesmí být menší než je čas potřebný k reakci zkoušeného zařízení, nesmí však být kratší než 0,5 s. V kroku 2 se ověřuje správná činnost a funkční charakteristiky EUT při následujících diskrétních kmitočtech: 0,15; 0,3; 0,45; 0,6; 0,9; 1,2; 1,8; 2,4; 3,6; 4,8; 7,2; 9,6; 12; 19,2; 27; 49,4; 72 a 80 MHz. Činnost EUT se proěřuje až po stabilizaci rušivého napětí. Pokud jsou během zkoušky nalezeny frekvence, na které je zařízení obzvláště citlivé měli by být analyzovány separátně. [5]



Obr. 3.6.1. schematické znázornění zkušební sestavy při injektování kleštěmi pro zkoušky odolnosti proti rušením šířenými vedením indukovaným vysokofrekvenčními poli



Obr. 3.6.2. schematické znázornění zkušební sestavy při zavádění rušivého signálu přes CDN pro zkoušky odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli

Kde:

- T 50  $\Omega$  zakončení
- T2 výkonový útlumový člen
- CDN vazební a oddělovací síť

#### **3.6.4 Vyhodnocení zkoušky**

Pro vyhodnocení výsledků zkoušky elektromagnetické odolnosti zkoušeného zařízení proti, rušení šířenému vedením indukovaného vysokofrekvenčními poli platí pro motorový pohon i pro jistič kritérium činnosti A z kapitoly 3.1.

### 3.7 Krátkodobé poklesy a přerušení napětí

Elektrická a elektronická zařízení mohou být ovlivněna poklesem nebo krátkým přerušením dodávky napětí ze zdroje. Tyto jevy mohou být způsobeny poruchami a náhlými změnami zátěže v síti. Vlivem pozvolně se měnící hodnoty zátěže může také docházet plynulému poklesu napájecího napětí. [18]

Pro jističe s elektronickou nadproudovou ochranou tyto zkoušky neplatí, jsou ale nahrazeny zkouškami na pokles a přerušení proudu. Zkouška krátkodobých poklesů a přerušení napětí se zkouší pouze u motorového pohonu napájeného střídavým napětím. [5]

#### 3.7.1 Zkušební úrovně

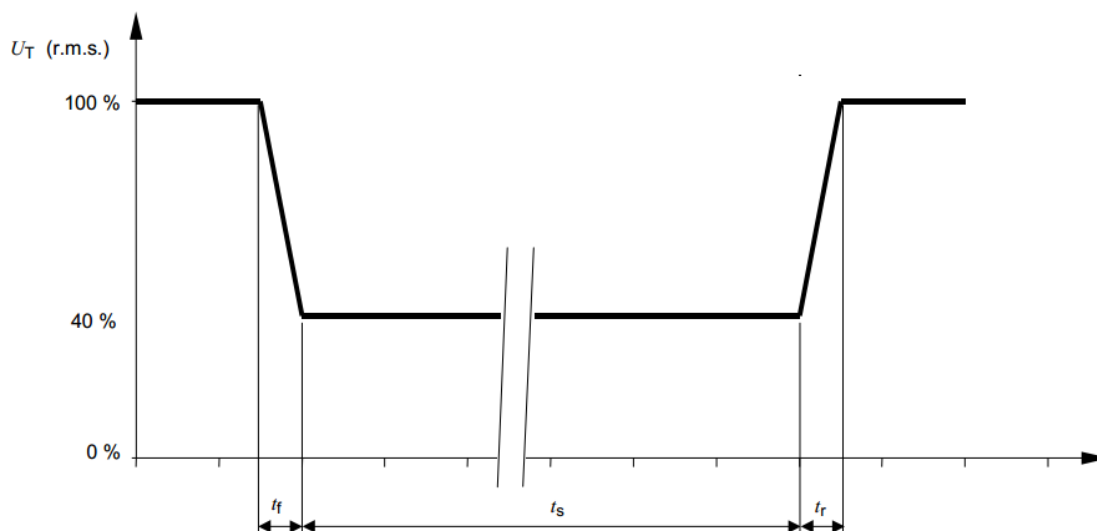
Zkoušené zařízení se zkouší na poklesy nebo na krátké, úplné výpadky napětí. Změna napětí ze jmenovité hodnoty na požadovanou hodnotu napětí je náhlá. V okamžiku kdy dojde k poklesu napětí, nezáleží na fázovém posunu. Při zkoušce se používají následující hodnoty jmenovitého napětí zkoušeného zařízení: 0, 40, 70 a 80 %. Doba trvání poklesu napětí se řídí třídou elektromagnetického prostředí, do které je zkoušené zařízení zařazeno. Tato třída odpovídá prostředí, v němž bude zařízení provozováno. Doby trvání poklesu jsou uvedeny v tabulce 3.7.1. [18, 19]

Třída 2 je specifikována jako průmyslové prostředí, ve kterém dochází k identickým jevům jako ve veřejných sítích. Prostředí, ve kterém se nachází jeden z těchto vlivů, spadá do třídy 3: většina zátěže je napájena z měničů, v prostředí se používají svářečky, dochází k častým rozběhům velkých motorů, dochází ke strmému nárůstu nebo poklesu zatížení.

*Tab. 3.7.1. Doba trvání poklesu napětí v závislosti na třídě, hodnoty jsou uvedeny pro jmenovitou hodnotu frekvence EUT 50 Hz*

procent ze jmenovité hodnoty napětí	Třída 2	Třída 3
0%	během 0,5 a 1 periody	během 0,5 a 1 periody
40%	-	během 10 period
70%	během 25 period	během 25 period
80%	-	během 250 period





Obr. 3.7.1. ukázka poklesu efektivní hodnoty napětí na hodnotu 40 % jmenovitého napětí, kde:  
 $t_f$  – doba klesání napětí,  $t_s$  – doba zmenšeného napětí,  $t_r$  – doba stoupání napětí

### 3.7.2 Zkušební vybavení

#### Zkušební generátor

Následující technické specifikace platí pro generátor, který bude použitý ke zkouškám snížení napětí i ke zkouškám úplných výpadků napětí. Výstupní impedance generátoru musí být převážně činná a dovolená odchylka při všech požadovaných hodnotách poklesů napětí je 5 % ze zkoušené hodnoty napětí. Doba klesání a stoupání napětí musí být v rozmezí od 1 do 5  $\mu$ s při připojené odporové zátěži 100  $\Omega$ . Dovolená odchylka od jmenovité frekvence je  $\pm 2$  %.

#### Kalibrace generátoru

Hodnoty výstupního napětí se musí odzkoušet při 100 %, 80 %, 70 %, a 40 % jmenovitého (popř. všech jmenovitých) napětí. Výstupní napětí je měřené ve stavu na prázdkno. Regulace zátěže také musí být vyzkoušena při jmenovitém proudu na každé hodnotě z uvedených hodnot napětí, odchylka napájecího napětí v tomto případě nesmí překročit 5 %. Doba trvání ověření je 5 sekund pro 80 %. A pro hodnoty 70 a 40 % ze jmenovitého napětí je potřebná doba 3 sekundy.

### **3.7.3 Provedení zkoušky**

Generátor musí být připojen ke zkoušenému zařízení nejkratším možným kabelem, jaký specifikuje výrobce, pokud není výrobcem definována žádná délka kabelu, pak musí být kabel nejkratší možné délky pro vhodné umístění instalovaného zařízení. Pokud nejsou přítomny skutečné provozní signály EUT, mohou být simulovány.

Zkouška se provádí podle test plánu, v němž je specifikována zkušební sestava, klimatické a elektromagnetické podmínky v laboratoři. Pokud se během zkoušky objeví jakákoli porucha nebo nežádoucí působení EUT musí být tento jev zaznamenán. [18]

### **3.7.4 Vyhodnocení výsledku zkoušky**

Během zkoušky se může změnit stav jističe, stav výstupů indikace se může změnit, musí ale indikovat správný stav jističe po zkoušce. Po ukončení zkoušky musí být zkontrolována správná činnost zařízení, motorový pohon musí být schopen vypnout a zapnout jistič.

### 3.8 Harmonické proudy

Harmonické rušení je ve většině případů způsobeno zařízeními s nelineární proudovou nebo napěťovou charakteristikou. Může také být způsobeno synchronizovaným spínáním zátěže v soustavě. Harmonické proudy jsou v menším měřítku generovány zařízeními pro přenos a rozvod, ve větším měřítku jsou generovány průmyslovými zátěžemi. I v případě kdy je v síti pouze několik málo zdrojů rušivých harmonických a jejich úroveň rušení je poměrně malá, vzhledem ke sčítání jednotlivých harmonických působících z různých zdrojů rušení může dojít k poměrně silnému zkreslení napětí. Tyto harmonické proudy mohou způsobit harmonický úbytek napětí v síti. Vlivem kapacity kabelů, indukčnosti vedení a zařízení sloužících pro úpravu účinníku se může v rozvodné síti objevit sériový nebo paralelní rezonanční jev a to i v poměrně značné vzdálenosti od zdroje rušivého signálu. Největší zdroje rušivých harmonických proudů jsou přímé a nepřímé statické frekvenční měniče, svářečky a obloukové pece.

Zkoušky odolnosti jsou určeny pouze pro elektrická a elektronická zařízení se jmenovitým proudem do 16 A. Tyto zkoušky mají tedy význam zejména pro elektronické spouště jističů a pro jističe pro které výrobce stanoví, že elektronické prostředky pro snímání proudu jsou citlivé na efektivní hodnotu. Tento fakt musí být uveden buď na jističi označením „r.m.s.“ nebo v dokumentaci výrobce nebo obojím způsobem. Tato zkouška neplatí pro motorové pohony. [5, 20]

#### 3.8.1 Zkušební úrovně

Existují dva rovnocenné způsoby jak provést zkoušku harmonickými proudy. Podle první varianty se přikládají postupně dva tvary vlny. Nejprve se přikládá vlna skládající se ze základní a třetí harmonické složky a potom se přikládá tvar vlny složený ze základní složky a páté harmonické. V druhé variantě se přikládá vlna obsahující základní složku spolu s třetí, pátou a sedmou harmonickou.

Varianta 1 – dva tvary vlny přiložené postupně.

Nejprve se přikládá vlna skládající se ze základní a třetí harmonické složky. Velikost třetí harmonické se musí nacházet v rozmezí od 72 do 88 % základní složky a vrcholový činitel musí být roven  $2 \pm 0,2$ .

Pak se přikládá základní složka a pátá harmonická, Velikost páté harmonické musí ležet v mezích od 45 do 55 % základní složky a vrcholový činitel je roven  $1,9 \pm 0,2$ .

Varianta 2 – tvar vlny je složen ze základní složky a třetí páté a sedmé harmonické.

Velikosti harmonických složek jsou zde následující: třetí harmonická musí být větší než 60 %, pátá harmonická větší než 14 % a sedmá harmonická větší než 7 % základní složky. Vrcholový činitel musí být větší nebo roven 2,1. Hodnota vrcholového činitele je vrcholová hodnota proudu dělená jeho efektivní hodnotou. [5]

### 3.8.2 Zkušební vybavení

#### Zkušební generátor

Hlavním požadavkem na generátor je schopnost vytvořit signál se základní frekvencí 50 Hz s přesností  $\pm 0,5$  Hz, na který mohou být dále superponovány požadované frekvence. Generovaný signál nesmí ovlivňovat pomocná zařízení, která mohou být potřebná k provedení zkoušky.

Velikost generovaného signálu může mít odchylku  $\pm 2$  % pro jednofázové a i trojfázové zapojení a fázový posun mezi jednotlivými fázemi musí být v toleranci  $\pm 1,5^\circ$ .

#### Kalibrace generátoru

Výstupní signál generátoru musí být před zkouškou ověřen na jeho svorkách analyzátozem harmonických složek a výstup analyzátoru musí být uchován. Osciloskop zde může být použit pouze pro orientační sejmání signálu a pro monitorování napájecího napětí během Zkoušky. [20]

### 3.8.3 Provedení zkoušky

Zkouška zařízení musí proběhnout ve volném vzduchu. Zkoušení probíhá na dvoufázových pólech zvolených náhodně při jakémkoli vhodném napětí. Zapojení odpovídá variantě a) v obrázku 2.2.1., v případě spouští citlivých na ztrátu fáze variantě b) obrázku 2.2.1. Podpěťové spouště jsou během zkoušky zablokovány nebo musí být napájeny. Během zkoušky není dovoleno zapojení žádných pomocných zařízení. Doba trvání zkoušky proti nežádoucímu vypnutí musí být desetinásobkem doby vybavení. [5, 20]

### 3.8.4 Vyhodnocení zkoušky

Pro vyhodnocení výsledků zkoušky elektromagnetické odolnosti zkoušeného zařízení proti harmonickému rušení, platí pro jistič kritérium činnosti A.

### 3.9 Poklesy proudu

Tato zkušební metoda nemá svou vlastní normu ze skupiny IEC 61000-4-x a je popsána pouze ve kmenové normě IEC 60947-2 v příloze F. Vztahuje se tedy jen na jističe s elektronickou nadproudovou ochranou nikoli na zařízení montovaná na jistič nebo do jističe.

#### 3.9.1 Zkušební úrovně

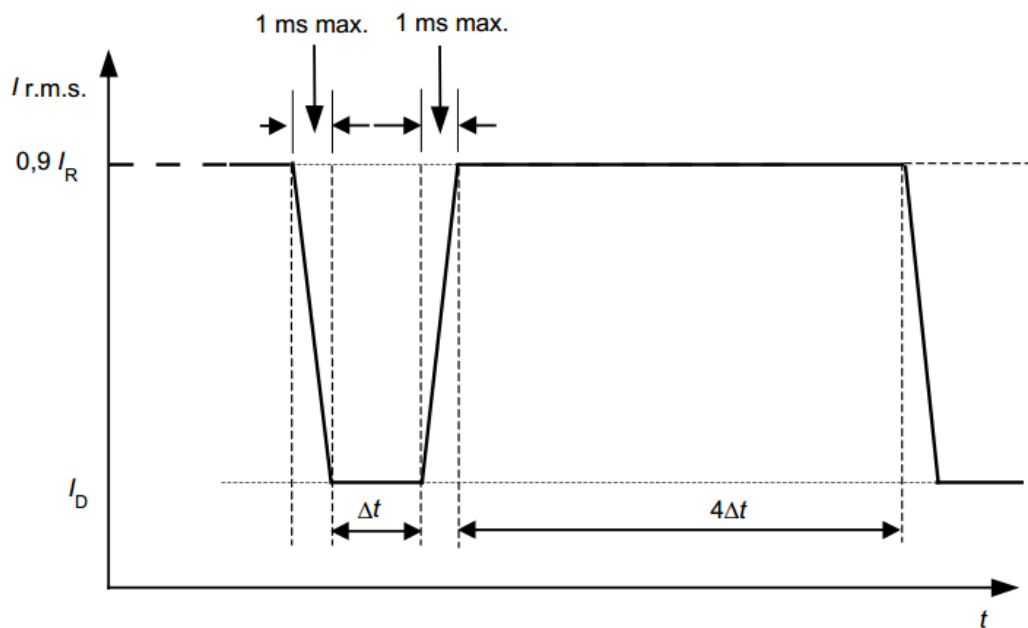
Zkoušené zařízení je zkoušeno na tři velikosti zkušebního proudu, hodnoty a doby trvání jsou uvedeny v tabulce 3.9.1.

*Tab. 3.9.1. zkušební úrovně pro poklesy a přerušení proudu*

zkouška č.	zkušební proud poklesu	doba poklesu
1 - 5	0	0,5; 1; 5; 25; 50 T
6 - 8	0,4 $I_R$	10; 25; 50 T
9 - 11	0,7 $I_R$	10; 25; 50 T

#### 3.9.2 Provedení zkoušky

Zkouška zařízení musí proběhnout ve volném vzduchu se sinusovým proudem při jakémkoliv vhodném napětí. Tvar proudu musí být shodný s tvarem naznačeným na obrázku 3.9.1. Doba trvání každé zkoušky musí být mezi trojnásobkem a čtyřnásobkem maximální vypínací doby při dvojnásobku proudového nastavení, maximálně však může trvat 10 minut. Zkouška probíhá na dvoufázových pólech zvolených náhodně. Zapojení odpovídá variantě a) v obrázku 2.2.1., v případě spouští citlivých na ztrátu fáze variantě b) v obrázku 2.2.1. [5]



Obr. 3.9.1. Tvar zkušebního proudu pro ověření vlivu poklesů a přerušení proudu  
 $I_D$  – zkušební proud poklesu,  $I_R$  – proud nastavení,  $\Delta t$  – doba poklesu,  $4\Delta t$  – doba prodlevy

### 3.9.3 Vyhodnocení zkoušky

Pro vyhodnocení výsledků zkoušky elektromagnetické odolnosti zkoušeného zařízení proti poklesům proudu, platí pro jistič kritérium činnosti B, není ale nutné provádět prověření funkce po zkoušce.

## 4 Návrh zkušební laboratoře

Pro návrh zkušební laboratoře elektromagnetické odolnosti jsou směrodatné požadavky podrobně rozepsány ve třetí kapitole a pro přehlednost jsou úrovně a frekvenční rozsah zkušebních veličin shrnuty v tabulce 4.0.1. Z dostupného zkušebního vybavení na trhu bylo sestaveno technické řešení laboratoře, odpovídající těmto požadavkům.

*Tab. 4.0.1. Rozsah zkoušek EMC odolnosti pro motorový pohon a jistič*

Název	Referenční norma	pro jistič	pro MO	Zkušební úroveň	Rozsah kmitočtů	Vybavení pro zkoušku
Elektrostatické výboje	61000-4-2	ANO	ANO	8kV		generátor výboje
Vysokofrekvenční el. mg. pole šířená vyzařováním	61000-4-3	ANO	ANO	10V/m	80MHz-2GHz	bezodrazová komora, generátor rádiové frekvence, výkonový zesilovač, anténa, snímač pole, EMI filtry
Elektrické rychlé přechodné jevy/skupiny impulzů	61000-4-4	ANO	ANO	2; 4kV		generátor pulzů, CDN, kapacitní vazební kleště
Rázy	61000-4-5	ANO	ANO	2; 4kV		generátor vlny 1,2/50μs, CDN
Rušení šířené vedením indukované vysokofrekv. poli	61000-4-6	ANO	ANO	10V	150kHz - 80MHz	generátor, CDN (M1/M2), injektovací kleště
Poklesy a přerušení napětí	61000-4-11	NE	ANO	≤ 230 V	DC, 50; 60Hz	napěťový generátor
Harmonické	61000-4-13	ANO	NE	<16A	50 - 420Hz	Generátor, analyzátor harmonických
Poklesy proudu		ANO	NE	0-630A	50/60Hz	proudový generátor

### 4.1 Zkušební přístroje

V této kapitole jsou uvedeny pouze některé přístroje a jejich základní popis (generátory zkušebního signálu). Vzhledem k množství komponent je kompletní seznam vybavení laboratoře v příloze č III a podrobnější základní specifikace v příloze č. IV.

### **Simulátor elektrostatických výbojů DITO**

Simulátor DITO je bateriově poháněný simulátor elektrostatických impulzů, jejichž parametr odpovídá požadavkům normy IEC 61000-4-2. V módu kontaktních výbojů pracuje Simulátor v rozsahu od 500 V do 10 kV. Vzduchový výboj může být nastaven v rozsahu od 500 V do 16,5 kV, v obou módech se úroveň zkušebních impulzů nastavuje v krocích po 100 V pro kladnou i zápornou polaritu pulzů. Výboje můžou být aplikovány jednotlivě nebo kontinuálně.



*Obr. 4.1.1. Testovací generátor ESD pulzů - DITO*

### **Multifunkční testovací generátor UCS 500N5**

Tento generátor je vhodný ke zkouškám odolnosti rychlých elektrických přechodných jevů – IEC 61000-4-4, rázů IEC 61000-4-5 a krátkodobých poklesů napětí IEC 61000-4-11. Obsahuje v sobě vestavěnou, jednofázovou vazební síť.



*Obr. 4.1.2. Generátor UCS500*



### Komplexní ovládací EMC jednotka ECU-3

Zkušební jednotka ECU-3 od společnosti Frankonia slouží k provádění těchto zkoušek odolnosti: vysokofrekvenční elektromagnetická pole šířená vyzařováním podle IEC 61000-4-3 a rušení šířené vedením indukované vysokofrekvenčními poli podle IEC 61000-4-6. Pro provedení zkoušky jsou také nutné softwary CD LAB a RF LAB.

RF LAB software je určený pro zkoušku 61000-4-3. Software uchovává veškerá kalibrační a naměřená data, vytváří z nich protokol obsahující všechny potřebné údaje pro opakování zkoušky. Pro zkoušky odolnosti mohou být kalibrační data vypočteny z měření plochy homogenního pole. Oba softwary schematicky zobrazují konfiguraci zkušební sestavy a zaznamenávají měřené veličiny. Softwary se instalují na standardní PC s operačním systémem windows 7 nebo 8.



*Obr. 4.1.3. Jednotka ECU-3*

Pro přenos rušivého signálu z jednotky na EUT jsou nutná rozšíření: směrové odbočnice, přepínač výstupů, měřič výkonu, RF zesilovače, anténa, přepínač polarizace, kombinovaná CDN a další. Kompletní seznam zkušebního vybavení je uveden v příloze č. III.

### Generátor harmonických HAR1000-1P 115V

HAR1000-1p je jednofázová verze generátoru harmonických proudů a zahrnuje v sobě výkonový zesilovač, impedanční síť a systém pro měření harmonických. Hardware je ovládán

pomocí softwaru HARSC. Systém dokáže generovat harmonické pro základní frekvenci 50 a 60 Hz až do jejich čtyřicetinasobku.



*Obr. 4.1.4. Generátor harmonických HAR1000*

### **Proudový zdroj NSG 1007-10-208**

Mikroprocesorově ovládaný napájecí zdroj s vestavěným analyzátořem o výkonu 10 kVA. Vzhledem k velikosti proudu potřebného pro provedení zkoušky u jističů, zejména pro 630 A verzi je nutné doplnit zdroj vhodným transformátorem pro získání požadované velikosti proudu.



*Obr. 4.1.5. Proudový zdroj NSG 1007*

Tab. 4.1.1. srovnání požadavků na zkušební přístroje s parametry přístrojů

Název	specifikováno v odstavci	požadované		navrhované zkušební vybavení	
		Zkušební úroveň	Rozsah kmitočtů	Zkušební úroveň	Rozsah kmitočtů
Elektrostatické výboje	3.2	8 kV kontaktní výboje 2-8 kV vzduchový výboj		0,5-10 kV kontaktní výboje 0,5-16,5 kV vzduchový výboj	
Vysokofrekvenční el. mg. pole šířená vyzařováním	3.3	10 V/m	80 MHz-2 GHz	$\leq 10$ V/m	80 MHz-2 GHz
Elektrické rychlé přechodné jevy/skupiny impulzů	3.4	2; 4 kV		$\leq 5,5$ kV	
Rázy	3.5	2; 4 kV		$\leq 5$ kV	
Rušení šířené vedením indukované vysokofrekv. poli	3.6	10 V	150kHz - 80MHz	$\leq 10$ V	150 kHz-230 MHz
Poklesy a přerušení napětí	3.7	$\leq 230$ VAC	50/60Hz	$\leq 300$ V AC/DC	16-500 Hz
Harmonické	3.8	$\leq 16$ A	50 - 420Hz	$\leq 16$ A	0-6k Hz
Poklesy proudu	3.9	0 - 0,9·630A	50/60Hz		

## 4.2 Popis pracoviště

Pracoviště pro provádění zkoušek elektromagnetické odolnosti se nachází ve zkušební laboratoři v areálu společnosti OEZ v Letohradě. Pracoviště je navrženo tak, aby v něm bylo možné provádět předcertifikační zkoušky elektromagnetické odolnosti jističů a motorových pohonů v souladu s požadavky výrobní normy IEC 60947 – 2.

S ohledem na investiční náklady na zkušební vybavení potřebné k provedení zkoušek odolnosti, byly vybrány zkušební přístroje DITO a UCS500N5, kterými bude možné provádět tyto zkoušky elektromagnetické odolnosti:

IEC 61000-4-2	Elektrostatické výboje
IEC 61000-4-4	Elektrické rychlé přechodné jevy
IEC 61000-4-5	Rázy
IEC 61000-4-11	Poklesy a přerušení napětí

Pracoviště pro provádění těchto zkoušek je popsáno v kapitolách 3.2, 3.4, 3.5 a 3.7. Pracoviště je navrženo tak, aby na něm mohly být prováděny veškeré zkoušky uvedené v kapitole 3 s výjimkou zkoušky vysokofrekvenčních el. mg. polí šířených vyzařováním, pro tuto zkoušku je nutná bezodrazová komora, jenž dosud v laboratoři chybí. Na pracovišti, jak je popsáno níže, je možné provádět i zkoušky harmonických, poklesů proudů a rušení šířené vedením indukované vysokofrekvenčními poli po rozšíření laboratoře o příslušné zkušební vybavení.

Na podlaze pracoviště je položena referenční zemnicí rovina spojená s uzemňovací soustavou budovy, zhotovená z hliníkového plechu tloušťky 2 mm o rozměrech 1,5 x 3 m. Na ní jsou umístěny dva stoly z dřevěného masívu vysoké 0,8 m. Stoly odpovídají požadavkům normy pro zkušební sestavy umístěné na stole, i když veškeré zkoušky popsané v této diplomové práci se provádějí jako zkoušky zařízení stojanového typu, to znamená, že zařízení je umístěno na zemi. Součástí vybavení pracoviště jsou také příslušné izolační podložky, podpěrky, zkušební kryty a pomocná zařízení nutná k provedení zkoušek, tak jak jsou popsány v kapitole 3.

## 5 Závěr

Navržená zkušební laboratoř slouží pro zkoušky elektromagnetické odolnosti jističů a motorových pohonů určených k jejich vzdálenému ovládání. Laboratoř byla navržena v souladu s platnými technickými normami vztahujících se na elektromagnetickou odolnost jističů nízkého napětí a na jejich příslušenství. Zkoušky elektromagnetické odolnosti jsou jednou z podmínek pro uvedení výrobku na trh a pro získání označení CE, tak aby mohlo být zařízení volně prodáváno v rámci trhu zemí Evropského hospodářského prostoru v souladu s platnou legislativou.

Jednotlivé zkoušky odolnosti jsou podrobně popsány ve třetí kapitole. U každé zkoušky je stručně popsán zkoušený druh rušení a podmínky, za kterých může rušení vzniknout. Podrobně je pak popsána metodika každé zkoušky, zkušební sestavy, zkušební úrovně, zkušební pracoviště a požadavky na zkušební přístroje. Během každé zkoušky je zkoušené zařízení vystaveno specifickému druhu rušení, které je aplikováno na zařízení s různou intenzitou v předepsaných časových intervalech. Úroveň tohoto signálu se měří a sleduje se funkce zařízení. Výsledky každé ze zkoušek jsou hodnoceny podle funkčního kritéria, to určuje dovolenou míru zhoršení funkce zařízení.

Na základě požadavků na provedení zkoušek byly vybrány vhodné zkušební přístroje, kterými je možno provádět všech osm zkoušek odolnosti v požadovaném rozsahu. Každá ze zkoušek je různě náročná na zkušební vybavení, od zkoušky elektrostatických výbojů, kdy je prakticky potřeba pouze generátor elektrostatických pulzů, až po zkoušku vysokofrekvenčních elektromagnetických polí šířených vyzařováním, velmi náročnou na vybavení, kdy je zkoušku nutné provádět ve finančně vysoce nákladné komoře a ke generátoru rušivého signálu jsou nutné komponenty k přenosu a vyzařování rušivého signálu. Kompletní seznam zkušebního vybavení potřebného pro jednotlivé zkoušky je uveden příloze č. III.

Vzhledem k podobnosti některých zkoušek je možné použít jedno zkušební zařízení pro více zkoušek, v tomto ohledu je velmi výhodný zkušební generátor UCS500N, kterým je možno provádět zkoušky elektrických rychlých přechodových jevů, rázů a poklesů napětí. Podobné to je i se zkušební jednotkou ECU-3, ta je schopná generovat vysokofrekvenční rušivý signál použitelný pro zkoušky vysokofrekvenčních elektromagnetických polí šířených vyzařováním a vysokofrekvenčních polí indukovaných do vedení. Pro tyto dvě zkoušky musí

být jednotka pouze doplněna vhodným zkušebním vybavením pro přenos rušivého signálu a jeho následnou aplikaci na zkoušené zařízení.

Vzhledem k finanční náročnosti zkušebního vybavení byl v do laboratoře pořízen zkušební generátor elektrostatických pulzů DITO a generátor impulzů UCS500N. Tyto dva zkušební přístroje jsou optimem poměru mezi cenou zkušebního vybavení a počtem provedených zkoušek, je s nimi možno provádět polovinu z popisovaných zkoušek. Zbylé zkoušky budou i nadále prováděny v externí laboratoři dokud nedojde k úplnému rozšíření laboratoře v OEZ.

Součástí zadání práce bylo sestavení vzorového protokolu o zkoušce. Cílem protokolu o zkoušce je zaznamenat přesný průběh zkoušky, tak aby bylo možné zkoušku opakovat za stejných podmínek, se stejným zkušebním vybavením a ve stejné konfiguraci. Jako exemplární zkouška byla zvolena zkouška elektrostatických výbojů. Před samotným zkoušením bylo nutné sestavit test plán, jedná se o návod k provedení zkoušky, obsahující popis zkoušeného zařízení a jeho technické specifikace. V případě, že je test plán sestavený pro interní účely společnosti je popis zařízení velmi podrobný a jsou v něm uvedeny komponenty z nichž se zařízení skládá. Tento podrobný popis slouží zkušebnímu technikovi k odhalení možných cest, kudy se dostává rušení do zařízení a kudy dochází k jeho šíření. Test plán uvedený v příloze této diplomové práce popisuje pouze katalogové parametry zkoušeného zařízení, aby nedošlo k vyzrazení citlivých dat výrobce. Test plán a protokol o zkoušce jsou dva na sobě nezávislé dokumenty a proto obsahují podobné nebo stejné informace jako například popis zařízení, zkušební úrovně, popis zkušební sestavy apod.

## Seznam Literatury

- [1] Hudec, J. *Přepětí a elektromagnetická kompatibilita*, Hradec Králové, HAKEL, 1996
  - [2] Vaculíková, P., Vaculík, E. *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů*, Praha, Grada publishing, 1998
  - [3] Volin, M., L., *Parazitní vazby a přenosy*, Praha, SNTL, 1970
  - [4] Svoboda, J., *Základy elektromagnetické kompatibility*, Praha, ČVUT, 1994
  - [5] IEC 60947-2, *Low-voltage switchgear and controlgear - Part 2: Circuit-breakers* ed. 4.2, 2013-01
  - [6] Paul, C., R., *Introduction to electromagnetic compatibility*, New Jersey, John Wiley & sons, 2006
  - [7] Ott, H., W., *Electromagnetic compatibility engineering*, New Jersey, John Wiley & sons, 2009
  - [8] Dřínovský, J., Frýza, T., Svačina, J., Kejík, Z., Růžek, V. *Elektromagnetická kompatibilita*, VUT Brno, 2010
  - [9] IEC 61000-4-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test*, ed. 2.0, 2008-12
  - [10] IEC 61000-4-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-6: Testing and measurement techniques - Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*, ed. 3.2, 2010-04
  - [11] Katalog antén A.H. Systems, Inc [online]. [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: <http://www.ahsystems.com>
-

- [12] Katalog bezodrazových komor Frankonia, *Anechoic Chambers* [online]. [cit. 2015-02-10]. Dostupné z: <http://www.frankoniagroup.com>
  - [13] Havelka, O. a kolektiv, *Elektrické přístroje*, Praha, SNTL, 1985
  - [14] IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test*, ed. 3.0, 2005-11
  - [15] *Uvádění výrobků na trh* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/1/download/uvadeni-vyroбку-na-trh.pdf>
  - [16] IEC 61000-4-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-4: Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test*, ed. 3.0, 2005-5
  - [17] IEC 61000-4-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-6: Testing and measurement techniques - Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*, ed. 4.0, 2008-10
  - [18] IEC 61000-4-11, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-11: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests*, ed. 2, 2004-03
  - [19] IEC 60947-1, *Low-voltage switchgear and controlgear - Part 1: General rules*, ed. 4, 2011-03
  - [20] IEC 61000-4-13, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-13: Testing and measurement techniques - Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests*, ed 1.1, 2009-07
  - [21] Nařízení vlády č. 173/1997 Sb., kterým se stanoví vybrané výrobky k posuzování shody
  - [22] Nařízení vlády č. 17/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na elektrická zařízení nízkého napětí
-



- [23] Nařízení vlády č. 616/2006 Sb., o technických požadavcích na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility
  
- [24] *Seznam nařízení vlády k provedení zákona č. 22/1997 Sb.* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/seznam-narizeni-vlady-k-provedeni-zakona-c-22-1997-sb--c574>
  
- [25] Katalog jističů Siemens *3VA Molded Case Circuit Breakers ed.10/2014* [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: [https://www.lowvoltage.siemens.com/infocenter/doc/3VA-molded-case-circuit-breaker---Catalog---10\\_2014\\_6914.pdf](https://www.lowvoltage.siemens.com/infocenter/doc/3VA-molded-case-circuit-breaker---Catalog---10_2014_6914.pdf)

## Seznam příloh

- I. Test plán
- II. Protokol o zkoušce
- III. Přehled zkušebního vybavení pro zkoušky elektromagnetické odolnosti
- IV. Základní technické specifikace přístrojů

# Test plán

## EMC Zkouška odolnosti – Elektrostatický výboj

### Předmět zkoušky:

**motorový pohon Siemens MO320 3VA1**

<b>Číslo test plánu:</b>	TP-MO3VA1-3/15
<b>Verze test plánu:</b>	1.0
<b>Vypracoval:</b>	Pavel Karafiát
<b>Schválil:</b>	
<b>Počet stran:</b>	7
<b>Datum sestavení test plánu:</b>	10. 2. 2015
<b>Místo zkoušky:</b>	Zkušební laboratoř OEZ - Letohrad
<b>Typ zkoušky:</b>	Výrobní
<b>Identifikace zkoušeného zařízení</b>	
<b>Název:</b>	Motorový pohon MO320
<b>Model:</b>	3VA1
<b>Výrobce:</b>	Siemens
<b>V souladu s normou:</b>	IEC 60947-2 IEC 61000-4-2
<b>Zkušební úroveň</b>	
<b>nepřímé výboje do krytu:</b>	8 kV
<b>kontaktní výboje do EUT:</b>	-
<b>vzduchové výboje do EUT:</b>	8 kV
<b>Polarita impulzů:</b>	Kladná/záporná
<b>Počet impulzů pro každou polaritu:</b>	10
<b>Funkční kritérium činnosti:</b>	B

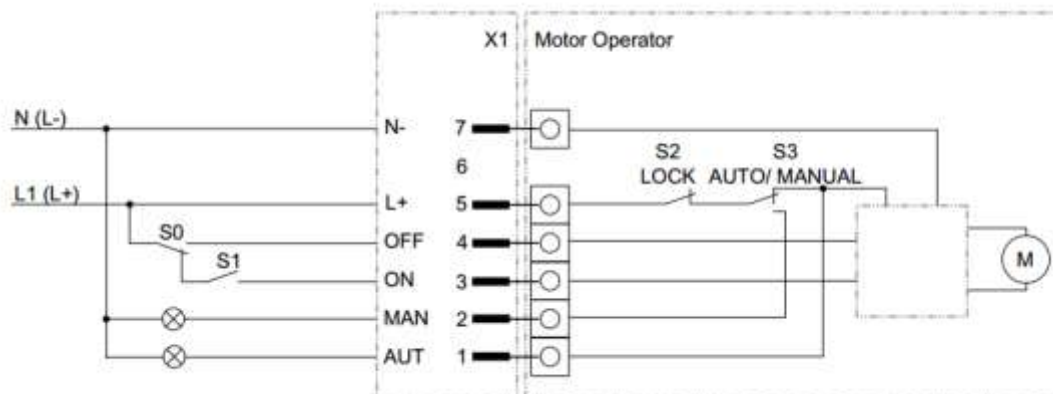
## 1 Popis zkoušeného zařízení

Motorový pohon MO320 slouží ke vzdálenému ovládání jističe (tlačítka nebo PLC), může být také ovládán ručně pomocí otočné páky. MO se nasazuje na čelní stranu jističe v poloze OFF a páka jističe musí být přesně mezi hranami pohyblivého mostu, který mechanicky hýbe pákou jističe.



Obr. 1 Model MO320 umístěn na jističi

Jmenovité napětí	110 – 230 VAC, 110 – 230 VDC
Jmenovitý výkon	250 W
Klidová doba	<500 ms
Doba náběhu	<500 ms
Krytí	IP20



Obr. 2 Zjednodušené schéma zapojení

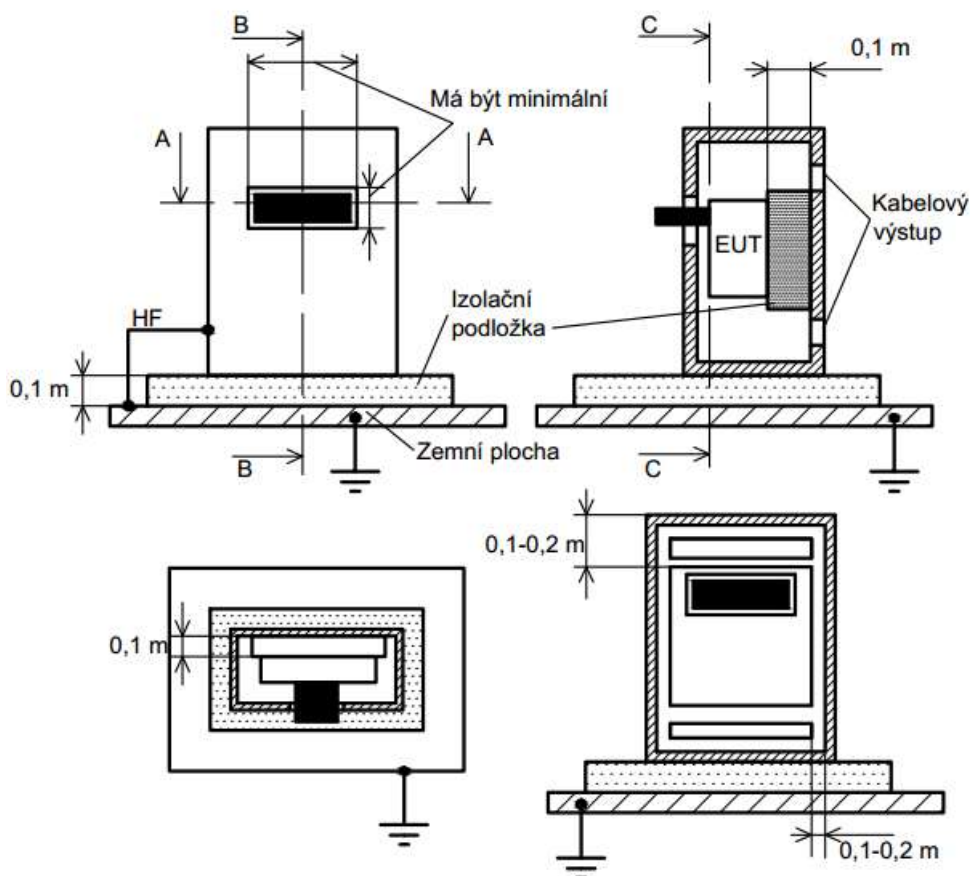
### 1.1 Popis činnosti zkoušeného zařízení

Motorový pohon je ovládán pomocí ovládacího zařízení připojeného na svorku X1. Skrze toto zařízení jsou motorovému pohonu tlačítka S0 a S1 vysílány povelové signály, které uvádějí MO do pohybu.

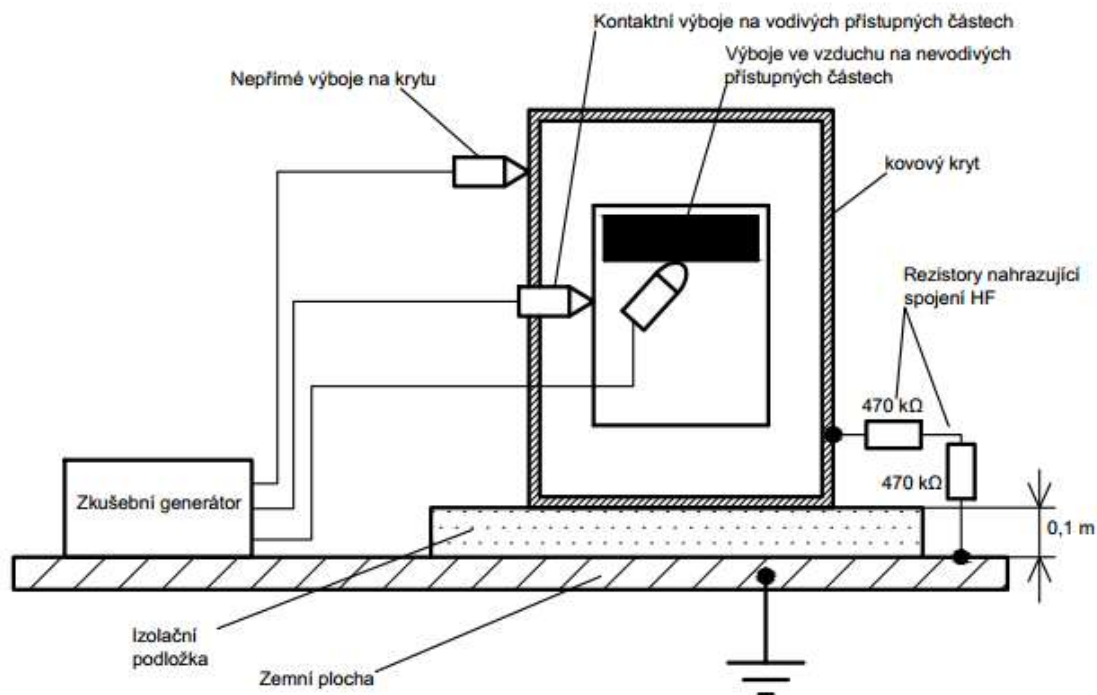
### 2 Podmínky sestavy

Motorový pohon jističe (dále jen MO) je nainstalován na jističi podle pokynů výrobce. Jistič je upevněný ve svislé poloze na izolační podložce v kovovém krytu jak uvedeno v obrázku 3. Jednotlivé přívodní póly jističe jsou vodivě spojeny a přivedeny na potenciál kovového krytu. Výstupní póly jističe jsou rovněž spojeny vodivou spojkou. Při zkoušce musí být jistič v poloze zapnuto. Mezi EUT a okolními stěnami a jinými kovovými konstrukcemi musí být dodržena minimální vzdálenost 80 cm.

MO se zkouší jako zařízení stojanového typu, to znamená, že kovový kryt je umístěn na zemi na izolační podložce vysoké 10 cm viz. Obrázek 4 a kovový kryt je uzemněn na referenční zemní rovinu přes dva sériové odpory o velikosti 470 k $\Omega$ .



Obr. 3 Umístění EUT v kovovém krytu



Obr. 4 Zkušební sestava pro ESD zkoušky

### 3 Podmínky v laboratoři

Klimatické podmínky v laboratoři musí být v následujících mezích:

Teplota okolí:	15 – 35 °C
Relativní vlhkost:	30 – 60 %
Atmosférický tlak:	86 – 106 kPa

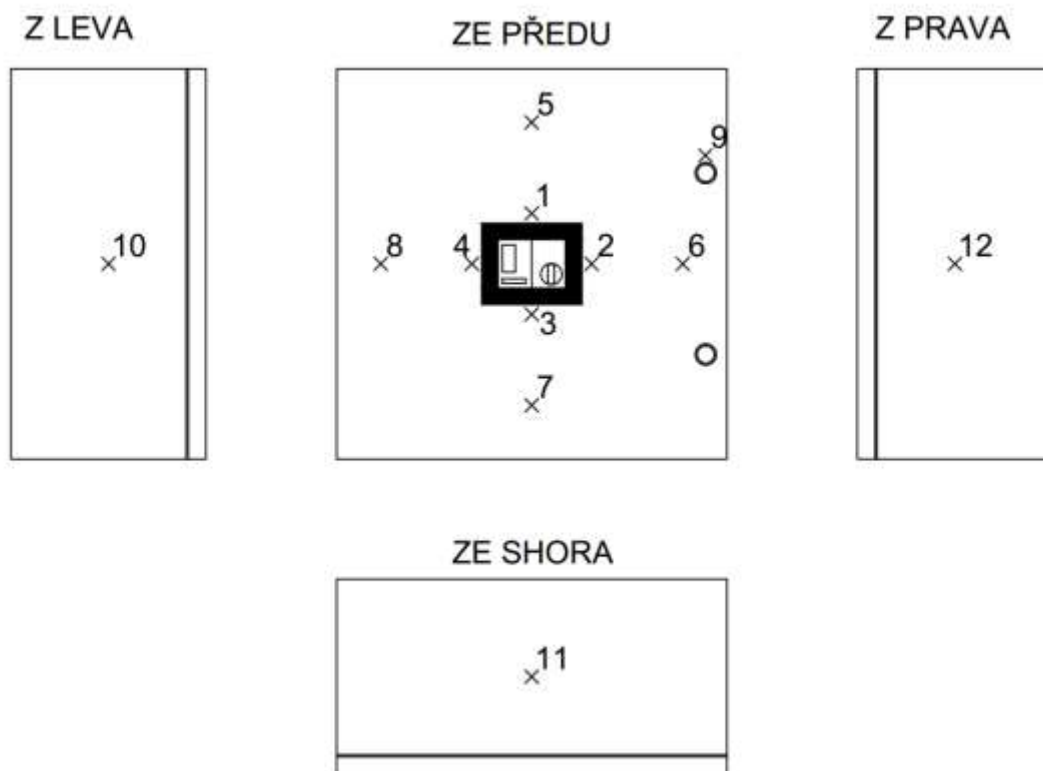
Elektromagnetické podmínky v laboratoři jsou zásadní pro správné provedení testu. Do testovací místnosti nesmí vnikat cizí elektromagnetické pole, které by mohlo ovlivnit výsledky testu.

## 4 Provedení testu

### 4.1 Nepřímé výboje do krytu

Do předem vyznačených míst na kovovém krytu jsou aplikovány nepřímé výboje. Deset výbojů do každého místa pro každou polaritu výboje. Kovový kryt zde nahrazuje vazební desku ve smyslu normy IEC 61 000-4-2. Pro zkoušku výboje do krytu musí být použit ostrý zkušební hrot.

Hrot zkušebního generátoru se přiloží na vybraný zkušební bod a sepne se spoušť generátoru, tím dojde k vybití energie do kovového krytu.

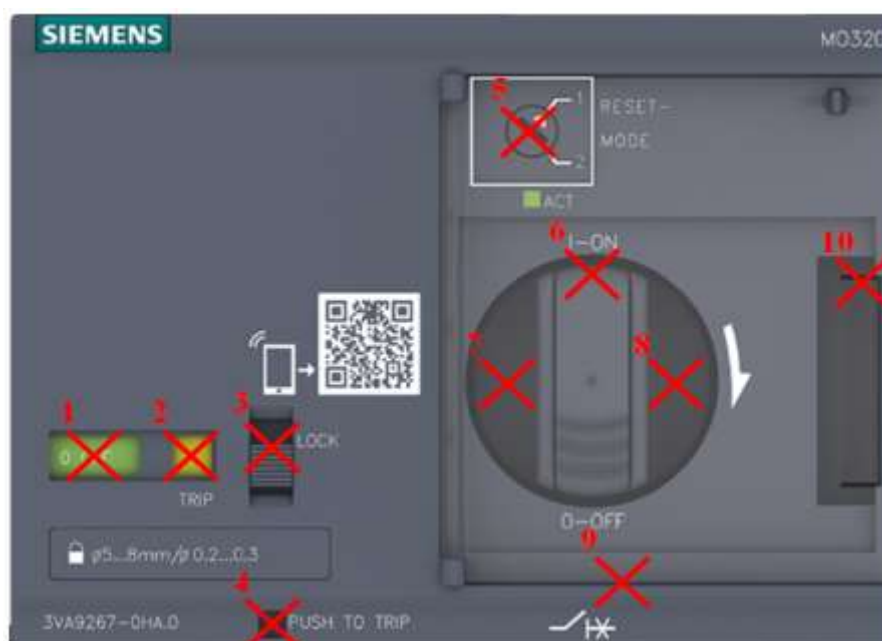


Obr. 5 Zkušební body pro zkoušku nepřímých výbojů na krytu

## 4.2 Vzduchové výboje do EUT

Vzduchový výboj do EUT je aplikován na místa běžně přístupná uživateli, jako jsou prvky ovládání a tlačítko zámku. Zkušební hrot s půlkulovou hlavou se přibližuje do předem vyznačených míst EUT dokud se hrot nedotkne povrchu. Toto se opakuje desetkrát pro každý bod a pro každou polaritu. Při zkoušení bodů 5 až 10 se zkouší s otevřenými dvířky pro manuální ovládání MO.

EUT se nezkouší na odolnost proti přímým kontaktním výbojům, protože jeho přístupná čelní stěna neobsahuje žádné kovové části.



Obr. 6 Zkušební body pro zkoušku výbojů ve vzduchu na nevodivých částech EUT



### 4.3 Zkušební úrovně

*Tab.1 Zkušební úrovně*

nepřímé výboje do krytu	8 kV
kontaktní výboje do EUT	-
vzduchové výboje do EUT	2; 4; 6; 8 kV
kritérium činnosti	B*
doba mezi jednotlivými výboji	>1s
polarita impulzů	+/-
počet impulzů pro každou polaritu	10

\*Kritérium činnosti B: stav jističe se během zkoušky nesmí změnit. Stav výstupů modulů dálkové indikace se může během zkoušky přechodně změnit, po zkoušce však musí indikovat správný stav jističe.

Po zkoušce je nutné provést zjednodušené prověření funkcí: MO, napájený podle pokynů výrobce, musí být schopen vypnout a zapnout jistič.

# Protokol o zkoušce

## EMC Zkouška odolnosti – Elektrostatický výboj

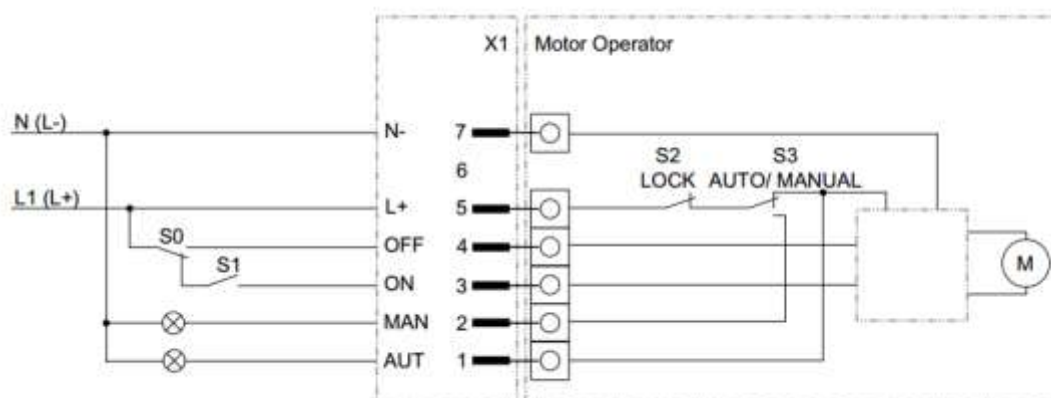
### Předmět zkoušky:

**motorový pohon Siemens MO320 3VA1**

<b>Číslo protokolu:</b>	PZ-MO3VA1-3/15
<b>Verze protokolu:</b>	1.0
<b>Vypracoval:</b>	Pavel Karafiát
<b>Schválil:</b>	
<b>Počet stran:</b>	5
<b>Datum provedení zkoušky:</b>	5. 3. 2015
<b>Datum vydání protokolu:</b>	
<b>Místo zkoušky:</b>	Zkušební laboratoř OEZ - Letohrad
<b>Typ zkoušky:</b>	Výrobní
<b>Zkoušku provedl:</b>	Pavel Karafiát
<b>Identifikace zkoušeného zařízení</b>	
<b>Název:</b>	Motorový pohon MO320
<b>Model:</b>	3VA1
<b>Výrobní číslo:</b>	Vzorek č. M003
<b>Výrobce:</b>	Siemens
<b>V souladu s normou:</b>	IEC 60947-2 IEC 61000-4-2
<b>Zkušební úroveň</b>	
<b>nepřímé výboje do krytu:</b>	8 kV
<b>kontaktní výboje do EUT:</b>	-
<b>vzduchové výboje do EUT:</b>	8 kV
<b>Polarita impulzů:</b>	Kladná/záporná
<b>Počet impulzů pro každou polaritu:</b>	10
<b>Funkční kritérium činnosti:</b>	B
<b>Výsledek Zkoušky:</b>	Vyhověl

## 1. Technická specifikace MO320 3VA1

Jmenovité napětí	110 – 230 VAC, 110 – 250 VDC
Jmenovitý výkon	250 W
Klidová doba	<500 ms
Doba náběhu	<500 ms
Krytí	IP20



Obr. 1 Zjednodušené schéma zapojení

## 2. Identifikační údaje EUT

Motorový pohon MO320 3VA1, Siemens	v. č.: vzorek M003, $U_N = 110-230 \text{ V AC/DC}$
3 pól. Jistič, Siemens	$I_N = 200 \text{ A}$ , $f_N = 50/60 \text{ Hz}$ , $U_N = 690 \text{ V}$ , v. č.: 1564-3P

## 3. Identifikační údaje zkušebního vybavení

Napájecí transformátor	1f, $U_N = 220/0-250 \text{ V}$ , Model SV-4A, $S = 1 \text{ KVA}$ , $I_M = 4 \text{ A}$ , $f_N = 50/60 \text{ Hz}$
Kovový kryt	rozměry (V. x Š. x H.) 60 x 60 x 30 cm, typ: NP65-0606030
ESD generátor	EM Test - Dito, ev.č. 50492, CD mode 500 V – 10 kV, AD mode 500 V – 16,5 kV

#### 4. Podmínky v laboratoři

Teplota okolí:	21,7 °C
Relativní vlhkost:	31,5 %
Atmosférický tlak:	103,2 kPa

#### 5. Provedení zkoušky

Zkouška je provedena podle referenční normy IEC 61000-4-2.

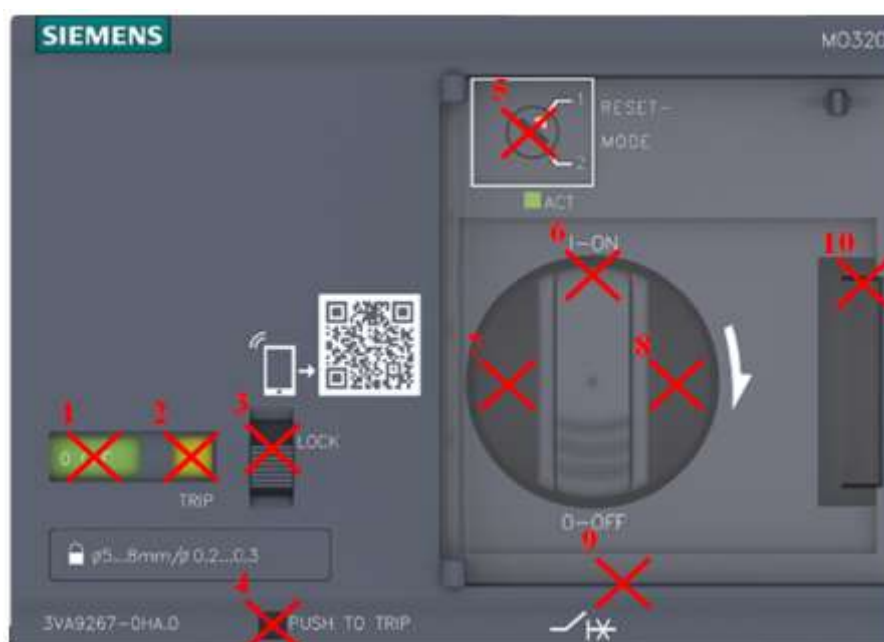
- a) Motorový pohon jističe je nainstalován na jističi podle pokynů výrobce. Jistič je upevněný ve svislé poloze na izolační podložce tloušťky 10cm v kovovém krytu o rozměrech 60 x 60 x 30 cm. Jednotlivé přívodní póly jističe jsou vodivě spojeny měděnou svorkou a kabelem spojeny s kovovým krytem. Výstupní póly jističe jsou rovněž spojeny vodivou spojkou. Při zkoušce musí být jistič v poloze zapnuto. Mezi EUT a okolními stěnami a jinými kovovými konstrukcemi musí být dodržena minimální vzdálenost 80 cm.
- b) MO je během zkoušky napájen 230 VAC a zkouší se jako zařízení stojanového typu, to znamená, že kovový kryt je umístěn na zemi na izolační podložce vysoké 10 cm a kovový kryt je uzemněn na referenční zemnicí rovinu přes dva sériové odpory o velikosti 470 kΩ. Umístění EUT odpovídá obr. 3 a obr. 4 z test plánu.
- c) Nepřímé výboje do krytu – do každého zkušebního místa se postupně aplikuje deset výbojů pro každou polaritu. V případě lakovaného krytu musí být rozrušena horní vrstva tak, aby došlo k doteku zkušebního hrotu s kovem. Pro zkoušku výboje do krytu musí být použit ostrý zkušební hrot. Hrot zkušebního generátoru se přiloží na vybraný zkušební bod a sepne se spoušť generátoru, tím dojde k vybití energie do kovového krytu.
- d) Vzduchový výboj do EUT je aplikován na místa běžně přístupná uživateli, jako jsou prvky ovládání a tlačítko zámku. Zkušební hrot s půlkulovou hlavou se přibližuje do vyznačených míst EUT dokud se hrot nedotkne povrchu. Toto se opakuje desetkrát pro každý bod a pro každou polaritu. Při zkoušení bodů 5 až 10 se zkouší s otevřenými dvířky pro manuální ovládání MO.
- e) EUT se nezkouší na odolnost proti přímým kontaktním výbojům, protože jeho přístupná čelní stěna neobsahuje žádné kovové části.

## 6. zkušební body

Na dveřích kovového krytu je umístěno devět zkušebních bodů, jeden u zámku otvírání, čtyři v blízkosti MO a čtyři ve vzdálenosti přibližně 20 cm od MO. Jeden zkušební bod je vrchní stěně a po jednom bodu na bočních stěnách, ve středu zadní stěny je umístěn také jeden bod. Lakovaná vrstva je v každém zkušebním bodu rozrušena, aby byl zaručen kontakt zkušebního hrotu a kovového krytu.



Zkušební body pro aplikaci vzduchového výboje



## 7. Výsledky zkoušky

Zkouška odolnosti motorového pohonu je posuzována podle funkčního kritéria B z normy IEC 60947 - 2 ed. 3 přílohy N. To znamená, že během zkoušky se nesmí změnit stav jističe na kterém je MO umístěn.

*Tab. 1 výsledky zkoušek*

Druh výboje	Zkušební úroveň	Poč. Výbojů, polarita	Výsledek
nepřímé výboje do krytu	8 kV	10, +/-	Vyhověl
kontaktní výboje do EUT	-	-	-
vzduchové výboje do EUT	2; 4; 6; 8 kV	10, +/-	Vyhověl

Pozn.: Během ani po aplikaci zkušebnímu rušení nebyl pozorován žádný nepříznivý jev ovlivňující EUT.

## 8. Závěr

Zkoušený motorový pohon MO320 3VA1 (M003) vyhověl zkoušce odolnosti proti elektrostatickým výbojům ve smyslu normy IEC 61000-4-2 a IEC 60947-2. Během zkoušky nebyly zaznamenány žádné nežádoucí jevy mající vliv na funkčnost EUT a po zkoušce bylo provedeno zjednodušené funkční prověření – motorový pohon zapnul a vypnul jistič.

**Přehled zkušebního vybavení pro zkoušky elektromagnetické odolnosti**

<b>přístroj</b>	<b>výrobce</b>	<b>typ</b>	<b>popis</b>
<b>Rázy IEC 61000-4-2</b>			
testovací generátor	EM TEST	Dito	0,5 - 16,5kV

<b>IEC 61000-4-3 a IEC 61000-4-6</b>			
bezodrazová komora	Frankonia	CHC	0,03 - 18GHz, mv. 3m
komplexní ovládací jednotka	Frankonia	ECU-3	9kHz - 3GHz
směrová odbočnice - rozšíření ECU-3	Frankonia	ECU-DC1A	10kHz - 250MHz, 30dB, 100W
směrová odbočnice - rozšíření ECU-3	Frankonia	ECU-DC2	80MHz-1GHz, 50dB, 1500W
směrová odbočnice - rozšíření ECU-3	Frankonia	ECU-DC3	1GHz-4GHz, 40dB, 600W
Přepínač výstupů - rozšíření ECU-3	Frankonia	ECU-OUT2	
Měřič výkonu/RF-milivoltmetr	Frankonia	ECU-PM1	10kHz-500MHz, 2 kanály
Měřič výkonu/RF-milivoltmetr	Frankonia	ECU-PM2	100kHz-6GHz, 2 kanály
Sada kabelů	Frankonia	ECU-KS3	

<b>Doplňky k jednotce ECU-3 pro zkoušky IEC 61000-4-3</b>			
RF zesilovač	Frankonia	FLH-200B1	80MHz-1GHz, 200W
RF zesilovač	Frankonia	FLG-50A	0,8GHz-2GHz, 50W
Skládaná širokopásmová anténa	Frankonia	AXL-80	80MHz-4GHz, max. input 1kW
Anténní stojan	Frankonia	FSM 2.0	výška od 1,2 do 2m
Přepínač polarizace	Frankonia	FSM-EP1	12V DC, 150mA
Měřič intenzity elektrického pole	Frankonia	EFS-10	0,5 – 500 V/m, 10kHz-9,25GHz
Stojan pro měřič intenzity el. pole	Frankonia	TR-ES	výška od 0,8 do 2,3m
Průchodka pro stíněné kabely	Frankonia	RFI-TRAP	

Ovládací jednotka	Frankonia	FC-05	
-------------------	-----------	-------	--

<b>Doplňky k jednotce ECU-3 pro zkoušky IEC 61000-4-6</b>			
RF zesilovač	Frankonia	FLL-75	100kHz-300MHz, 75W
Atenuátor	Frankonia	DAM 75W	6dB, 75W
Kombinovaná CDN M2 + M3	Frankonia		150kHz-230MHz, 16A, 230 VAC
Univerzální kalibrační sada	Frankonia	KAL	pro M1, M2, M3
Vazební kleština	Frankonia	EMCL	20mm, 100kHz – 1000MHz

<b>Samostatné provedení zkoušky IEC 61000-4-3</b>			
bezodrazová komora	Frankonia	CHC	0,03 - 18GHz, mv. 3m
Měřič intenzity elektrického pole	Teseq	EP6001	10 kHz - 9,25 GHz
Bilog. anténa	Teseq	CBL 6112D	30 MHz - 2 GHz
Tripod a uchycovací hlava na ant.	Teseq	BTP 6020 A	$\Phi = 22\text{mm}$
Generátor	Teseq	ITS 6000	80 MHz - 6GHz
Sada kabelů	Teseq	LE 6006	
výkonový zesilovač	Teseq	CBA-1G-150	150 W, 80 MHz - 1GHz
výkonový zesilovač	Teseq	AS0822-27	800 MHz - 2,2 GHz, 27W
směrová odbočnice	Teseq	CHA 9652B	80-1000 MHz
směrová odbočnice	Teseq	BDC 0842	0,8 - 4,2 GHz, 100W
měřič výkonu	Teseq	PMR 6006	1 MHz - 6GHz
ovládací software	Teseq	WIN6000	

<b>Samostatné provedení zkoušky IEC 61000-4-6</b>			
zkušební generátor	Teseq	NSG4070B-35	9kHz - 1GHz
výkonový zesilovač	Teseq	NSG4070B-35	35 W, 150kHz-230MHz
RF set kabelů	Teseq	LE4070	
Vazební/oddělovací síť	Teseq	CDN M216	M2, 16A, 230 MHz
EM kleště	Teseq	KEMZ 801A	
atenuátor	Teseq	ATN 6050	50W N(f)-N(f)



ovládací software	Teseq	WIN6000	pro NSG 4070 a ITS 6000
-------------------	-------	---------	-------------------------

<b>Zkoušky IEC 61000-4-4, 4-5, 4-11</b>
---

Generátor + 1f CDN	EM TEST	UCS 500N5	4-4,4-5,4-11 <5,5kV
--------------------	---------	-----------	---------------------

<b>Harmonické IEC 61000-4-13</b>
----------------------------------

generátor harmonických	EMC-partner	HAR1000-1P 115V	16A, 100-125V, 0-6kHz
------------------------	-------------	-----------------	-----------------------

<b>Poklesy proudu</b>
-----------------------

proudový zdroj	Teseq	NSG 1007-10-208	10 kVA
----------------	-------	-----------------	--------

**Technické specifikace přístrojů**

generátor ESD pulzů – DITO

Kontaktní výboje	0,5-10 kV $\pm$ 5%
Vzduchové výboje	0,5-16,5 $\pm$ 5%
Krok	100 V
Výdržný čas	5 s a více
Polarita	+/-
Doba náběhu impulzu	0,8ns $\pm$ 25%
Špičkový proud	7,5 A $\pm$ 15% na 2 kV 15,0 A $\pm$ 15% na 4 kV 22,5 A $\pm$ 15% na 6 kV 30,0 A $\pm$ 15% na 8 kV
Proud v 30 ns	4,0 A $\pm$ 30% na 2 kV 8,0 A $\pm$ 30% na 4 kV 12,0 A $\pm$ 30% na 6 kV 16,0 A $\pm$ 30% na 8 kV
Proud v 30 ns	2,0 A $\pm$ 30% na 2 kV 4,0 A $\pm$ 30% na 4 kV 6,0 A $\pm$ 30% na 6 kV 8,0 A $\pm$ 30% na 8 kV
Váha	870 g s baterií
Operační teplota	5 – 40 °C
Operační relativní vlhkost	20 – 80 %

**Multifunkční testovací generátor UCS 500N5**

Tab. 4.2.1. Parametry generátoru pro zkoušku rychlých přechodových jevů

Testovací napětí	200V – 5,5kV $\pm$ 10% 100V – 2,75kV $\pm$ 10%
Tvar vlny	5/50ns
Doba čela	5ns $\pm$ 30% do 50 $\Omega$ i 1k $\Omega$ zátěže
Doba půltýlu	50ns $\pm$ 30% do 50 $\Omega$ zátěže a 50ns-15/+100ns do 1k $\Omega$
Polarita pulzů	+/-

Impedance zdroje	50 $\Omega$
Doba trvání pulzu	0,1 – 999 ms
Opakovací rychlost	10 – 9,999 ms
Špičková frekvence	0,1 – 1 kHz

Tab. 4.2.2. Parametry generátoru pro zkoušku rázů

Napětí naprázdno	160 V – 5 kV $\pm$ 10%
Doba čela	1,2 $\mu$ s $\pm$ 30%
Doba půltýlu	50 $\mu$ s $\pm$ 20%
Proud na krátko	8 $\mu$ s $\pm$ 20%
Doba půltýlu	20 $\mu$ s $\pm$ 20 $\mu$ s
Polarita pulzů	kladná/záporná/střídavá
Opakovací rychlost	Max 1 Hz (1 – 999 s)
Vazební mód	Mezi fázemi Mezi fází a zemí

Tab. 4.2.3. Parametry generátoru pro zkoušku poklesů napětí

Maximální hodnota napětí	300V AC/DC
Maximální hodnota proudu	16A AC/DC
Frekvence AC módu	16 – 500 Hz
Náběhový proud	>500 A
Ochrana	Oba kanály jsou chráněny proti zkratu
Opakovací rychlost	0,01 – 9,999 s
Doba trvání	20 $\mu$ s – 9,999 s
Svorky EUT	L, N, PE
Měření na displeji	Napětí EUT Proud EUT

**Transformátor Hossoni SV-4A**

Zdánlivý výkon	1000 VA
Frekvence	50-60 Hz

Počet fází	1
Vstupní napětí	220V
Výstupní napětí	0 – 250 V
Maximální zatížitelnost	4 A

**Komplexní ovládací EMC jednotka ECU-3**

Výstup	50 $\Omega$
Frekvenční rozsah	9 kHz – 3 GHz
Rozlišení	0,1 Hz
Výstupní rozsah	-65 dBm – 10 dBm
Rozlišení výstupního rozsahu	0,1 dBm
Výstupní přesnost	$\pm 1$ dB
Harmonické	<-30dBc
Neharmonické	<-55dBc
Modulační sazba	1 Hz – 30 kHz
Hloubka modulace	0 – 90 %
Tvar vlny	Sinus, trojúhelník, čtverec

**RF měřič výkonu**

Počet kanálů	7
Frekvenční rozsah	10 kHz – 500 MHz (kanály 1,2,7) 100 kHz – 6 GHz (kanály 3,4,5,6)
Měřicí rozsah	-60 dBm – 20 dBm (10 kHz – 4 GHz) -45 dBm – 20 dBm (4GHz – 6GHz)
Přesnost	$\pm 1$ dB
Napájení	100 – 240 VAC 50/60Hz

**Bezodrazová komora CHC**

Vnější rozměry (délka x šířka x výška)	7,355 x 3,755 x 3,3 m
Frekvenční rozsah	30 MHz – 18 GHz
Měřicí vzdálenost	3 m
Velikost homogenní plochy	1,5 x 1,5 m

Max. odchylka	-0 dB/ +6 dB na 75 % z 16 měřících bodů
---------------	---

**Generátor harmonických HAR1000-1P 115V**

Zdánlivý výkon	4000 VA
Šířka pásma	DC – 6kHz
Rozsah napětí	100 – 125 V
Kontinuální proud	16 A
Změna regulace zátěže	< 0,05 %
Celkové harmonické zkreslení	< 0,5 %
Zkreslení harmonického napětí	3. harmonická < 0,9 % 5. harmonická < 0,4 % 7. harmonická < 0,3 % 9. harmonická < 0,2 % 2. - 10 harmonická < 0,2 % 11. 40. harmonická < 0,1 %
Impedance zdroje	< 3 Ω

**Proudový zdroj NSG 1007-10-208**

Napájecí napětí	208-400 V
Mody	AC, DC nebo AC + DC
Frekvenční rozsah	16-1000 Hz
Výkon	10 kVA
Napětí v AC modu	0-300 V
Citlivost regulace výstupu	<0,2 %
Maximální proud na fázi	Kontinuálně 74 A Špičkově 220 A
Účinník	0-1
Výstupní impedance	17-1000 m Ω 230-1000μH